© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

Mitt. österr. geol. Ges.	81 (1988)	S. 189–218 12 Abb., 2 Tab.	Wien, Mai 1989

Kluftminerale und ihre Bildungsbedingungen in Gesteinen der Eklogitzone/Südvenediger-Gebiet (Hohe Tauern, Österreich)

Von S. THOMAS und G. FRANZ*)

Mit 12 Abbildungen und 2 Tabellen

Zusammenfassung

In Hochdruckgesteinen der Eklogitzone auftretende Klüfte werden in Segregationen und Infiltrationsklüfte unterteilt. Untersuchungen zur Zusammensetzung von Mineralen, die sowohl im Nebengestein als auch in den Segregationen sowie im Kontakt auftreten, erlauben Aussagen über Bildungszeitraum und -milieu der Kluftphasen im Vergleich zu den Bedingungen im Nebengestein. Während Klinopyroxene, Hellglimmer, Amphibole und Karbonate in Kluft und Nebengestein gleiche Zusammensetzung zeigen, lassen Granate und Epidotminerale deutliche Unterschiede in der Zonarbauentwicklung erkennen. Die Ergebnisse bestätigen ein Wachstum der Segregationsminerale unter hohen lithostatischen und Fluiddrucken. Neben klaren Anzeichen einer Zufuhr der am Aufbau der Kluftphasen beteiligten Komponenten aus dem Nebengestein wird die Komplexität der physikalischen und chemischen Austauschvorgänge deutlich. Die eigenen Untersuchungen zeigen, daß kein durchgreifendes Gleichgewicht eingestellt worden ist und daß sich eine bevorzugte Flußrichtung der fluiden Phase von Nebengestein zu Segregation durchpaust.

Abstract

Veins in high pressure rocks from the Eclogite Zone (Southern Großvenediger area) can be subdivided into "segregations" and "infiltration veins". Composition of minerals that occur in the host rock as well as in segregations characterize their relative age and chemical environment. Clinopyroxenes, white micas, amphiboles and carbonates exhibit identical compositions in vein and host rock, whereas garnets and epidote minerals reveal distinct differences in their zoning pattern. The results confirm the growth of the segregation minerals under high lithostatic and fluid pressures. In addition to clear indications to derive the vein mineral forming components from the adjacent host rock the complexity of physical and chemical exchange processes is evident. The investigations show that no penetrative equilibrium was obtained, and that a preferred fluid flow from host rock to segregation can be traced.

---

*) Adresse der Verfasser: Institut für Angewandte Geophysik, Petrologie und Lagerstättenforschung, Technische Universität Berlin, Straße des 17. Juni 135, D-1000 Berlin 12, BRD.

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

1. Einleitung

Kluftminerale und ihre Bildungsbedingungen liefern wichtige Informationen über das rheologische Verhalten der Gesteine und über den Fluidhaushalt während bestimmter metamorpher und tektonischer Ereignisse, wenn es möglich ist, ihre Bildung relativ einzuordnen. Besonders interessant erscheinen die Zusammenhänge zwischen Herkunft und Transportmechanismen der fluiden Phase, Reaktionen mit und Pufferung durch die Festphasen und dem weiteren Weg der fluiden Phase durch das Gestein.

Als Klüfte und Kluftfüllungen im weiteren Sinne werden hier alle die Phänomene verstanden, die auch als Knauer, Segregationen, Boudinzwickel, alpidische Zerklüfte, hydrothermale Adern oder Gänge bezeichnet werden.

In der Eklogitzone südlich des Großvenediger (Abb. 1) enthalten solche Klüfte Minerale, die auf die Bildung während des Hochdruckstadiums hinweisen. Übereinstimmend werden von MILLER (1977), HOLLAND (1977, 1979), RAITH et al. (1980), und FRANK et al. (1987) Klüfte erwähnt, die einem die Hauptgefügeprägung überdauernden Eklogitstadium angehören. Die Zusammensetzung von Nebengesteins- und Kluftmineralen ist bis jetzt nur wenig verglichen worden. Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, in einer Bestandsaufnahme die Form der Klüfte und ihrer Mineralisation sowie die Mineralchemie der Kluftparagenesen zu dokumentieren und an einigen ausgesuchten Beispielen mineralogisch-chemische und tektonische Zusammenhänge zwischen Nebengestein und Kluftfüllung aufzuzeigen. Die Darstellung und Interpretation von kleinsten Fest- und fluiden Einschlüssen mit zahlreichen Tochterkristallen, die in den Kluftmineralen häufig auftreten, ist einer separaten Arbeit vorbehalten.

Über die Metamorphosebedingungen der Eklogitzone haben verschiedene Autoren unterschiedliche Vorstellungen entwickelt (u. a. MILLER, 1974, 1977, 1986; HOLLAND, 1977, 1979; ABRAHAM et al., 1974, RAITH et al., 1980; FRANZ & SPEAR, 1983, SPEAR & FRANZ, 1986, FRANK et al., 1987; DACHS, 1985, 1986). Übereinstimmend werden in den neueren Arbeiten für das Eklogitstadium Druckabschätzungen bei 19 Kbar bei maximalen Metamorphosetemperaturen von ca. 550–620° C angegeben. Die Intensität einer Überprägung ist in den einzelnen Gesteinstypen (Metabasite von olivin-tholeiitischem bis alkalibasaltischem Chemismus sowie einer Vielfalt von Metasedimenten, RAITH et al., 1977) unterschiedlich, und die P–T-Bedingungen der Mineralneubildungen werden mit Drucken zwischen < 14 Kbar und 2 Kbar angegeben. Diese Vorgänge sind das Ergebnis der retrograden Entwicklung bei der Heraushebung der Eklogitzone zusammen mit den angrenzenden Gesteinsserien der Oberen und Unteren Schieferhülle (SPEAR & FRANZ, 1986, DACHS 1986) und der Überschiebung der austroalpinen auf die penninischen Einheiten bzw. einer erneuten Einbeziehung in einen Subduktionsvorgang (FRANK et al., 1987). Die prograde präeklogitische Entwicklung ist durch Einschlüsse von Lawsonit-Pseudomorphosen in Granat (SPEAR & FRANZ, 1986; DACHS, 1986) sowie durch Einschlußparagenesen von Chloritoid, Disthen, Glaukophan, Fe-Barroisit und Plagioklas dokumentiert (MILLER, 1977; HOLLAND, 1979, RAITH et al., 1980), die z. T. auf ein amphibolitfazielles Stadium vor der Eklogitbildung hinweisen.

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

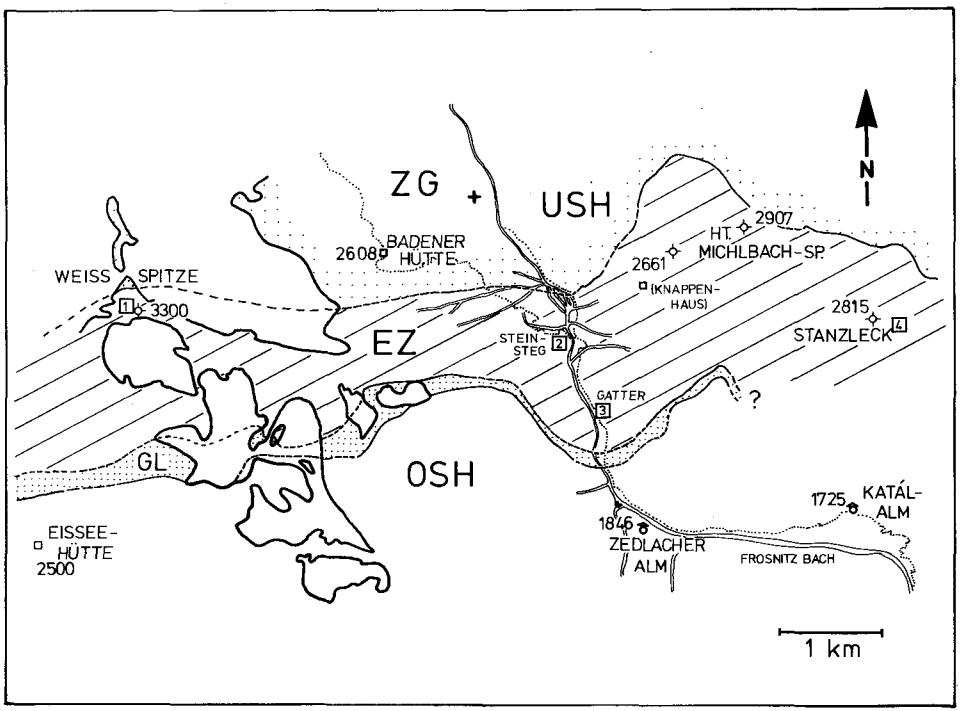

Abb. 1: Vereinfachte geologische Karte der Umgebung des Frosnitztales auf Grundlage des Blattes 152 „Matrei in Osttirol", herausgegeben von der Geol. Bundesanstalt, Wien 1987, und der Aufnahmen von RAITH et al. (1980). Probenlokalitäten und Proben-Nummern:
1 = Weiß-Spitze (80–26, ES-5, ES-11, ES-13), 2 = Steinsteg (83–74, 83–78), 3 = Gatter, 4 = Stanzleck (83–122). ZG = Zentralgneis, USH = Untere Schieferhülle, Punktsignatur; EZ = Eklogitzone, Schrägstriche; GL = Glimmerschieferlamelle, enge Punktsignatur; OSH = Obere Schieferhülle; Zahlenangaben in m über Meereshöhe, Wege gepunktet.

2. Ergebnisse

2.1. Geländebeobachtungen

Die Klüfte sind in Größe, Form und Mineralbestand sehr variabel. Die Dimensionen reichen von wenigen Millimetern bis zu mehreren Metern Mächtigkeit und streichender Länge. Die Formen umfassen längliche oder rundlich angeschnittene, gangartige, drusige und ausspitzende knauerförmige Körper. Sie sind zum Teil eindeutig als foliationskonkordant bzw. -diskordant klassifizierbar; es treten aber auch häufig Übergänge auf. Die Kontakte zwischen Nebengestein und Klüften können sowohl scharf als auch diffus sein. Aus der Vielfalt der Phänomene können zwei Extremfälle gegenübergestellt werden, die als „Segregation" einerseits und als „Infiltrationskluft" andererseits bezeichnet werden. Die meist lagenbau-diskordant auftretenden Infiltrationsklüfte können mehrere Meter Mächtigkeit und streichende

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

Länge erreichen (Abb. 2 c). Der Mineralbestand mit vorwiegend (grobkörnigem) Quarz, Chlorit, Karbonat und albitreichem Feldspat, Epidot, Amphibol, Titanit, Rutil, Pyrit, Markasit, Magnetit, Chalkopyrit, Turmalin und Apatit entspricht ungefähr der typischen grünschiefer- bis amphibolitfaziellen Überprägung der Metabasite. In der vorliegenden Arbeit wird auf diese Kluftkörper nicht näher eingegangen, sondern Wert auf die Beschreibung der Segregationen gelegt.

Kennzeichnend für eine Segregation ist die makroskopisch erkennbare Abkunft der Segregationsminerale aus dem Nebengestein. Entsprechend führen die Segregationen in eklogitischen Gesteinen neben vorherrschendem Quarz Minerale des Hochdruckstadiums wie Omphazit, Disthen, Paragonit und Granat. Segregationen sind wenige Zentimeter bis Dezimeter groß, meist von rundlicher, elliptischer oder auch ganz unregelmäßiger Form. Der Übergang zum Nebengestein kann graduell oder diskontinuierlich sein (Abb. 2 a). Manche Segregationen sind zonar aufgebaut oder schließen mit einem monomineralischen Saum von beispielsweise Omphazit gegen das Nebengestein ab. Die parallele Orientierung mehrerer gleichartiger Segregationen innerhalb eines Aufschlußbereiches zeigt, daß diese in einem bestimmten Streßfeld gebildet worden sind. In gebänderten Epidot-, Omphazit- und Glaukophan-führenden Gesteinen mit stark ausgebildeter planarer Anisotropie kommt es häufig zu symmetrischer oder asymmetrischer Foliationsboudinierung. Entlang von Ausdehungsfugen und Scherbahnen, die in unterschiedlich großem Winkel zum Lagenbau stehen, führt lokaler Stofftransport syndeformativ zu flächenhaftem oder fleckenartigem Materialabsatz von meist Quarz, Karbonat und Epidot (Abb. 2 b).

In gebänderten Metabasiten sind Boudinzwickelfüllungen und feine diskordante verheilte Dehnungsfugen aus Quarz und Karbonat (± Zoisit und Hellglimmer) häufige Segregationstypen. In Glaukophan-reichen Gesteinen trifft man Quarz-Karbonat-Schmitzen mit und ohne Omphazitsaum an, die sowohl in Faltenscharnieren als auch s-parallel auftreten. Besonders komplex und häufig zonar aufgebaut sind fleckenartige Aggregate im Innern von Faltenscharnieren. Sie bestehen aus einem zentralen relativ großen Karbonatkristall (Dolomit) mit Quarzummantelung und einem unvollständig ausgebildeten Amphibolsaum gegen das epidotreiche Nebengestein.

Daneben treten in solchen und anderen Segregationen Zoisit/Epidot, Omphazit, Glaukophan, Hellglimmer, Granat, Karbonate, Apatit, Turmalin, Rutil, Chalkopyrit und Pyrit auf. Rutil findet sich im Quarz oder am Rand der Mineralaggregate vor allem zu epidotreichem Nebengestein in Form einzelner bis ca. 10 cm großer Kristalle. Die meisten der Mischkristalle sind chemisch und texturell variabel und lassen sich nicht immer eindeutig einem primären oder einem späteren Stadium zuordnen.

Sekundäre Bildungen sind Chlorit, ein Teil der Biotite, Karbonate und Titanit sowie der meist albitreiche Plagioklas. Besser für das Studium von Alterationserscheinungen sind feine parallel oder senkrecht zueinander verlaufende Rißscharen in den Eklogiten geeignet, entlang derer das Nebengestein nicht selten gegeneinander versetzt und meist bis ca. 100 µm tief verändert worden ist. In solchen Frakturen findet sich ein Teil der gleichen Minerale, die auch in Symplektiten und Säumen um oder als Pseudomorphosen nach primären eklogitischen Mineralen auftreten. Dazu

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

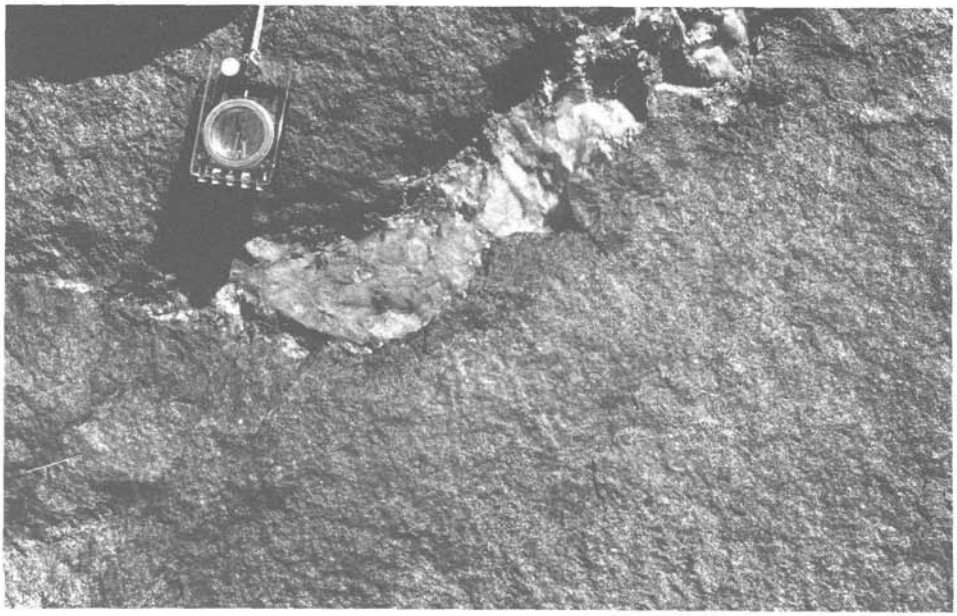

Abb. 2 a: Unregelmäßige Disthen-Hellglimmer-Quarz-Segregation mit etwas Rutil, Zoisit und Karbonat, in massigem Eklogit; Lokalität Steinsteg.

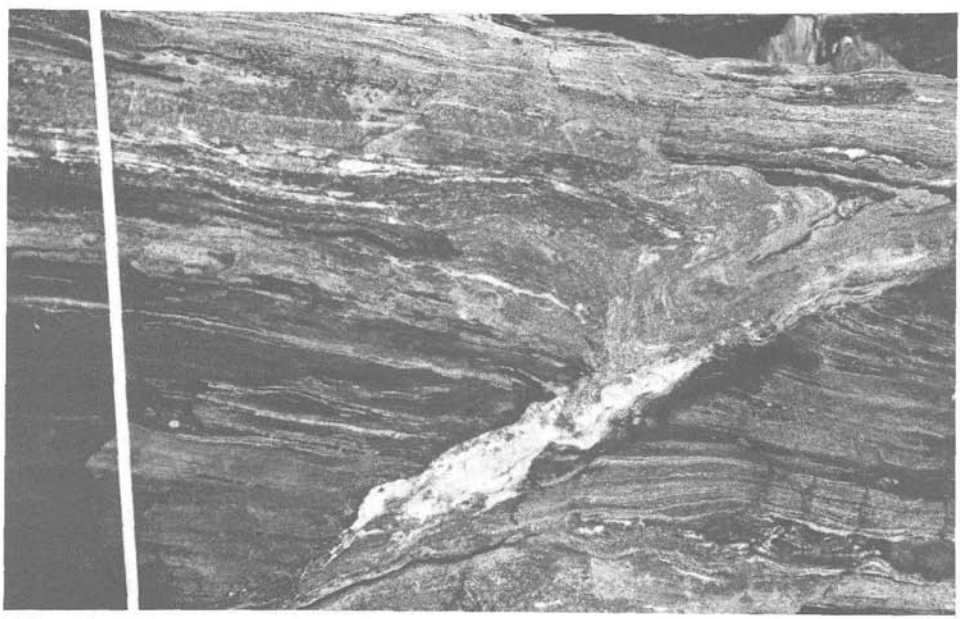

Abb. 2 b: Mit asymmetrischer Foliationsboudinierung verbundene Quarz-Karbonat-Segregation in Epidot- (helle Lagen) und Amphibol-reichen (dunkle Lagen) eklogitischen Gesteinen mit ausgeprägtem Lagenbau; ca. 60 cm des Meßbandes sind erkennbar; nahe Höhenkote × 2661 m, südwestlich der Ht. Michelbach-Spitze.

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

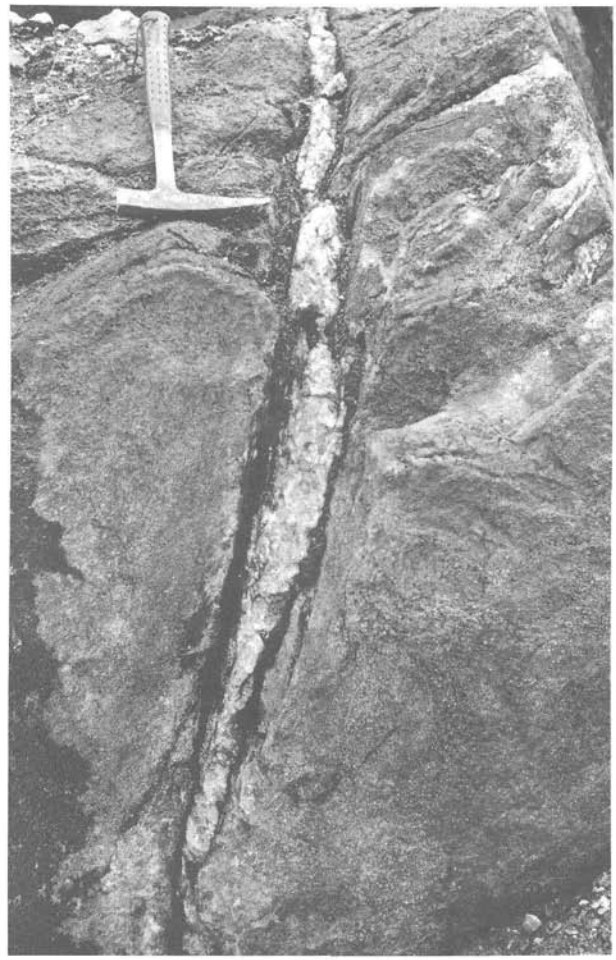

Abb. 2 c: Diskordante Quarz-Infiltrationskluft im Eklogit mit vom Kontakt weg abnehmender Albit-Blastese. Neben Chlorit, der als Saum am Salband ausgebildet ist, treten Feldspat, Karbonat und Sulfide auf. Lokalität Wände unterhalb Stanzleck.

gehören albitreicher Feldspat, Barroisite oder Ca-reiche Amphibole, Epidot, Kalzit, Fe- und Ti-Oxide. Andere Mikrorisse sind durch Quarz und Hellglimmer verheilt. Die äußeren Formen der Segregationen zeigen dagegen kaum einen Einfluß späterer dem Eklogitstadium folgenden Deformationsereignisse.

2.2. *Petrographie der Segregationen*

Nach Mineralbestand und Textur und Art des eklogitischen Nebengesteins werden drei Typen von Segregationen vorgestellt. Die Reihenfolge der Segregationsminerale ist durch ihr mengenmäßiges Auftreten bestimmt.

– Quarz-Disthen-Omphazit-Segregation: in mittel- bis feinkörnigem massigen

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

Abb. 3: *Quarz-Segregationen mit Disthen und Pyroxen.*

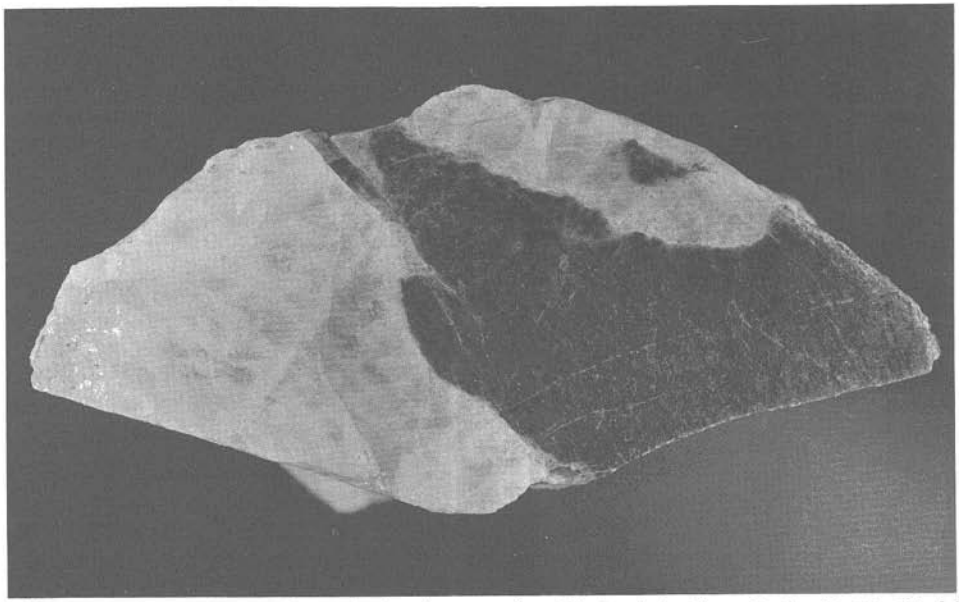

Abb. 3 a: Quarz-Segregation mit einzelnen großen Disthenkristallen. Probe 80–26, Gipfel der Weiß-Spitze, Bidlängskante (BLK) = 67 mm.

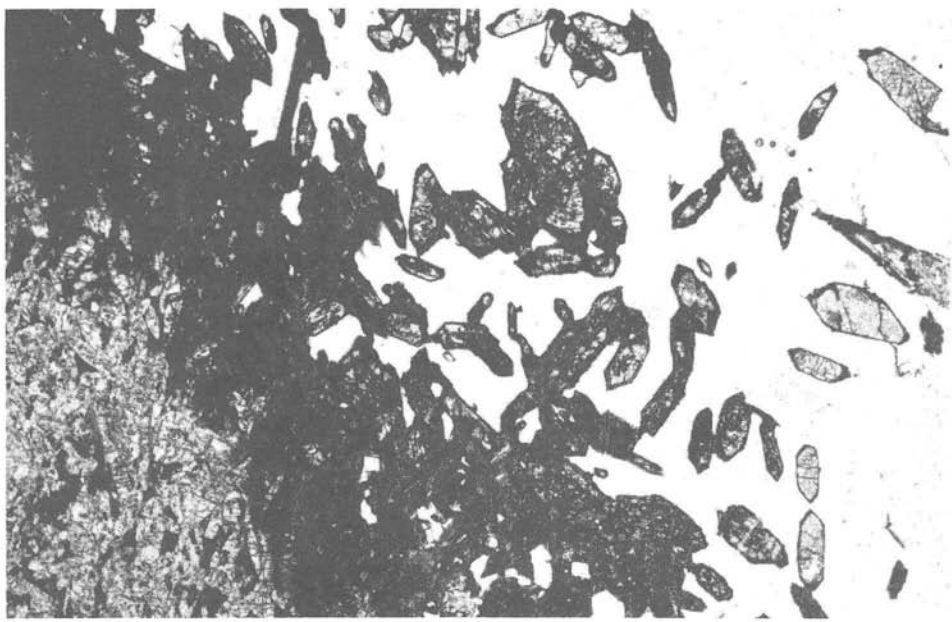

Abb. 3 b: Nebengesteinskontakt einer Segregation wie in 3 a. Der Alterationsgrad der Pyroxene nimmt vom Kontakt weg ins quarzreiche Segregationsinnere ab. Helle Kristalle: Epidot. Dünnschliff (Ds) 83–122, Wände am Stanzleck, Raneburgkar, parallele Polarisatoren (PP), BLK = 7,0 mm.

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

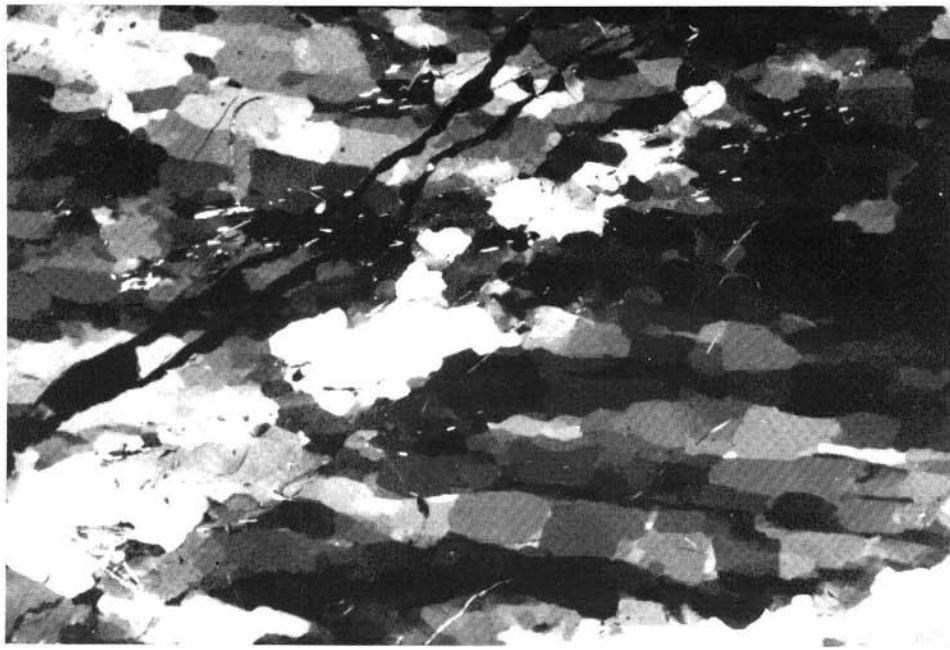

Abb. 3 c: Subkornbau und Rekristallisat einer boudinähnlichen wenige cm großen Quarz-Segregation mit Omphazit-Stengeln (hell). Eine Lage mit Rekristallisat parallel zur Boudinachse verläuft im spitzen Winkel zum Lagenbau der Subkörner (von links unten nach rechts oben) und unterscheidet sich leicht im Lumineszenz-Verhalten von seiner Umgebung. Ds ES-5, Gipfel der Weiß-Spitze, gekreuzte Polarisatoren (PX), BLK = 7,0 mm.

Eklogit mit schwach ausgeprägtem Lagenbau, Lokalität Gipfel der Weiß-Spitze (Proben Nr. 80–26, Es-5, ES-13) und Raneburgkar (83–122).

- Hellglimmer-Omphazit-Disthen-Zoisit-Apatit-Quarz-Segregation: in mittel- bis grobkörnigem massigen Eklogit mit schwach ausgeprägtem Lagenbau, Lokalität Steinsteg (Proben-Nr. 83–74, 83–78).
- Quarz-Epidot-Omphazit-Apatit-Magnesit-Segregation: in feinkörnigem gebänderten Eklogit mit ausgeprägtem Lagenbau, Lokalität Gipfel der Weiß-Spitze (Probe Nr. ES-11).

In feinkörnigen massigen Eklogiten treten Quarz-Disthen-Omphazit-Segregationen mit einzelnen Disthen-Kristallen auf, die mehrere cm lang, häufig verbogen oder verknickt sind (Abb. 3 a). Omphazit wächst saumartig in die Segregation hinein. Im Nebengestein ist die Symplektitbildung bis zu mehreren Millimetern vom ungradlinigen scharfen Segregationskontakt deutlich ausgeprägt, während im Segregationsinnern keine Symplektitbildung stattgefunden hat (Abb. 3 b).

Das Quarzgefüge zeigt Anzeichen einer späteren Überprägung und Erholung mit Polygonisation in den großen Altkörnern bzw. Rekristallisatbildung. Die Quarzaltkörner können ein bis zwei cm groß sein, mit geraden, annähernd senkrecht aufeinander stehenden Subkorngrenzen. Die Subkörner sind 125 bis 350 µm lang (in

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

Abb. 4: *Hellglimmer-, Klinopyroxen- und Disthen-reiche Segregationen mit Zoisit, Granat und Apatit.*

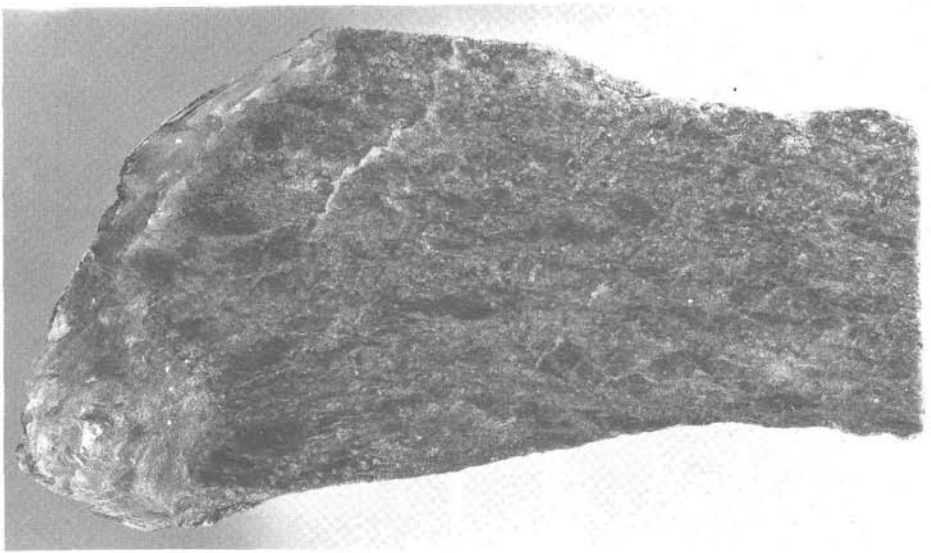

Abb. 4 a: Massig-grobkörniger Eklogittyp mit vorwiegend aus Disthen und Paragonit ± Phengit bestehender Segregation. Am Übergang zum hellglimmerreichen Teil der Segregation ist Granat konzentriert. Probe Nr. 83–78, Lokalität Steinsteg, BLK = 78 mm.

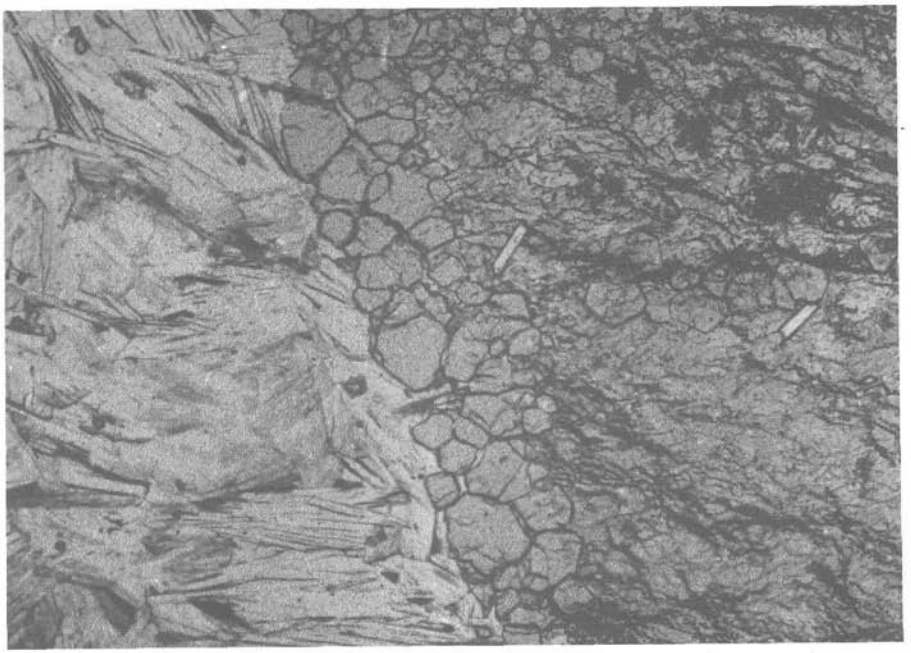

Abb. 4 b: Granatkonzentration zwischen Matrix (feinkörnig, dunkelgrau) und Paragonit-Phengit-reicher Segregation. Ds 83–78, Steinsteg, PP, BLK = 5,7 mm.

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

Ausnahmen bis zu 500 μm) mit einem Längen- zu Breiten-Verhältnis von durchschnittlich 3 : 1 (Abb. 3 c). Rekristallisate treten verstärkt an Orten höherer Strain-Konzentration wie beispielsweise an Nebengesteinsflächen oder an Kontakten zu anderen Segregationsmineralen auf, mit leicht gekrümmten, z. T. auch grob suturierten Korngrenzen. Die Größe der Neukörner beträgt zwischen 125 und 750 μm und das Längen/Breiten-Verhältnis ist meist 1,6 : 1.

Undulierende Auslöschung und Deformationslamellen greifen in einigen Altkörnern über den dort nur undeutlich entwickelten Subkornbau hinweg. In Zonen besonderer Beanspruchung werden die Deformationslamellen durch jüngere Subkornbildung ausgelöscht. Rekristallisatkörner besitzen keine Deformationslamellen.

Unter dem Lumineszenzmikroskop zeigen Alt-, Neu- und Subkörner homogene, leicht rötliche Brauntönung. Nur in Ausnahmefällen ist das schwache Durchpausen des Altbestandes an leicht bläulichen Farbtönen (entsprechend einem Zustand mit höherer Defektenergie aufgrund stärkerer Gitterverformung) zu erkennen. Eine ältere Verformung ist in den Altkörnern teilweise in Form der Deformationslamellen erhalten und wurde in den Neukörnern ausgelöscht.

Die Rekristallisationstemperatur, die sich aus der Größe der Subkörner mit 500° C abschätzen läßt (STÖCKHERT, pers. Mitt.), kann einem Ereignis vor oder einer späteren Temperung nach dieser Deformation zugeordnet werden (s auch Kapitel 3.3. „Zur Kluftentwicklung). In beiden Fällen müssen nach der Deformation noch Temperaturen von mindestens 270–300° C (Rekristallisationstemperatur von Quarz) geherrscht haben, bei denen die vorhandenen Unterschiede im Quarzgitter, die optisch noch erhalten sind, kristallographisch eliminiert wurden, so daß keine Unterschiede im Lumineszenzverhalten erkennbar sind.

Hellglimmerreiche Segregationen aus dem grobkörnig-massigen Eklogittyp besitzen im Gegensatz zu den oben beschriebenen einen mehr diffusen Kontakt zum Nebengestein (Abb. 4 a). Dieser Eklogit ist glimmerarm, mit Annäherung an den Segregationskontakt nehmen bei Sprossung quer zum Lagenbau die Glimmer (meist Paragonite) an Häufigkeit und Größe zu. Ebenso vergröbern sich die Omphazitkörner und -subkörner, entwickeln sich von einer Mosaiktextur zu stengeligem Habitus und ordnen sich in Segregationsrichtung parallel zur makroskopisch erkennbaren Dehnungsrichtung an. Granate sind selten in der Segregation, eher als Front am Salband konzentriert (Abb. 4 b).

Der Zusammenhang zwischen Segregationsparagenese und dem Mineralbestand des Nebengesteins wird an einer Quarz-Epidot-Omphazit-reichen Segregation aus dem feinkörnigen Eklogit mit ausgeprägtem Lagenbau deutlich (Abb. 5 a). Der Lagenbau wurde in die Horizonte A bis L eingeteilt, und diese Einteilung korrespondiert mit entsprechenden Segregationsmineralen (Abb. 5 b, Tab. 1). Magnesit und Dolomit treten in Fortsetzung von Granat- und Karbonat-reichen Lagen auf (Horizonte B, C, D und F), Rutil ist als Segregationsmineral nur neben einer rutilreichen Lage zu finden (Horizont K) und wenn Epidot und Klinozoisit in der Matrix in unterschiedlichen Mengen vorliegen, spiegelt sich dieses Verhältnis meist in der Kluft wieder. Deutlich ist der Korngrößenunterschied zwischen Matrix und Kluft (Abb. 5 c). Epidote und Omphazite wachsen aus dem Nebengestein senkrecht in die Segregation; größere Kristalle, die isoliert von der Matrix sind, sind häufig mit ihrer Längsrichtung parallel zum Salband ausgerichtet (Abb. 5 d).

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

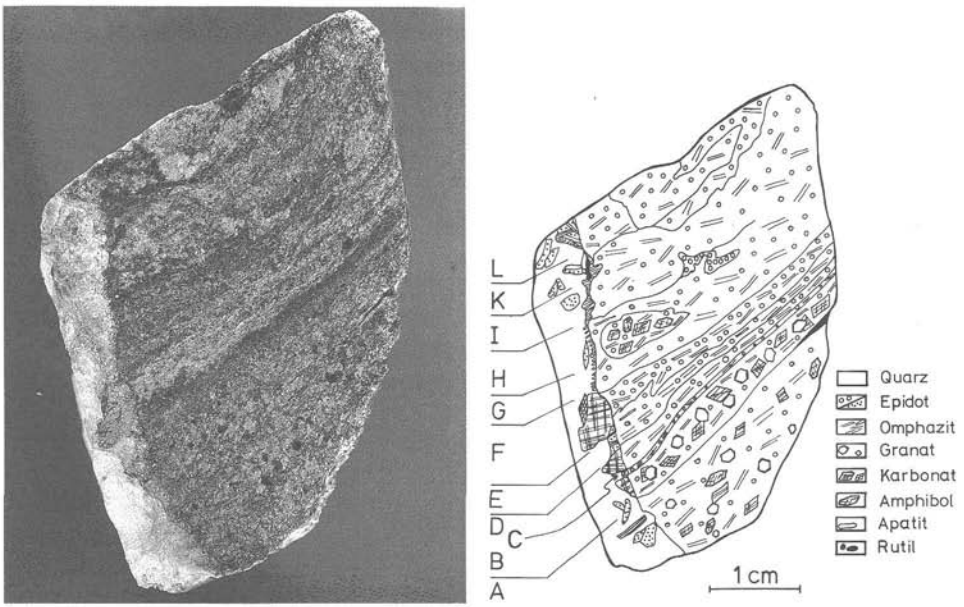

Abb. 5a–b: *Quarz-Epidot-Karbonat-Segregation mit Apatit, Klinopyroxen und Amphibol.* a) Handstück und b) schematische Skizze eines gebänderten Eklogits mit senkrecht zum Lagenbau aufgerissener Segregation. Der Mineralbestand der Segregation reflektiert den lokalen Lagenbau, s. auch Tab. 2. Probe Nr. ES-11, Gipfel der Weiß-Spitze.

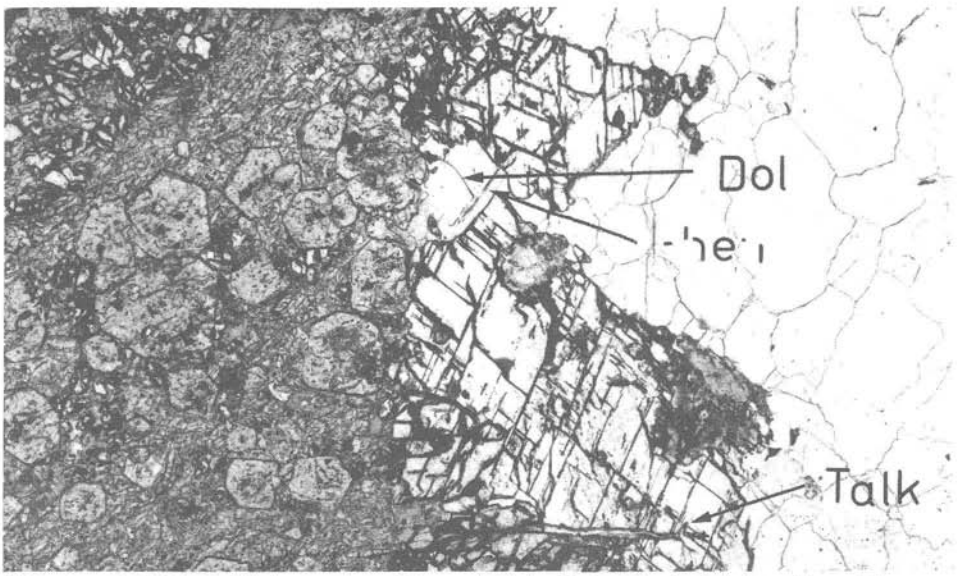

Abb. 5 c: Mit Fe-Oxid pigmentierte Magnesit-Kristalle in Matrix (feinkörnig) und Segregation. Zwischen den großen Karbonatkristallen mit Einschlüssen von Talk ist klarer Dolomit neben Phengit zu sehen (Horizonte, B, C, D in Abb. 5). Ds Es-11, Gipfel der Weiß-Spitze, PP, BLK = 4,9 mm.

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

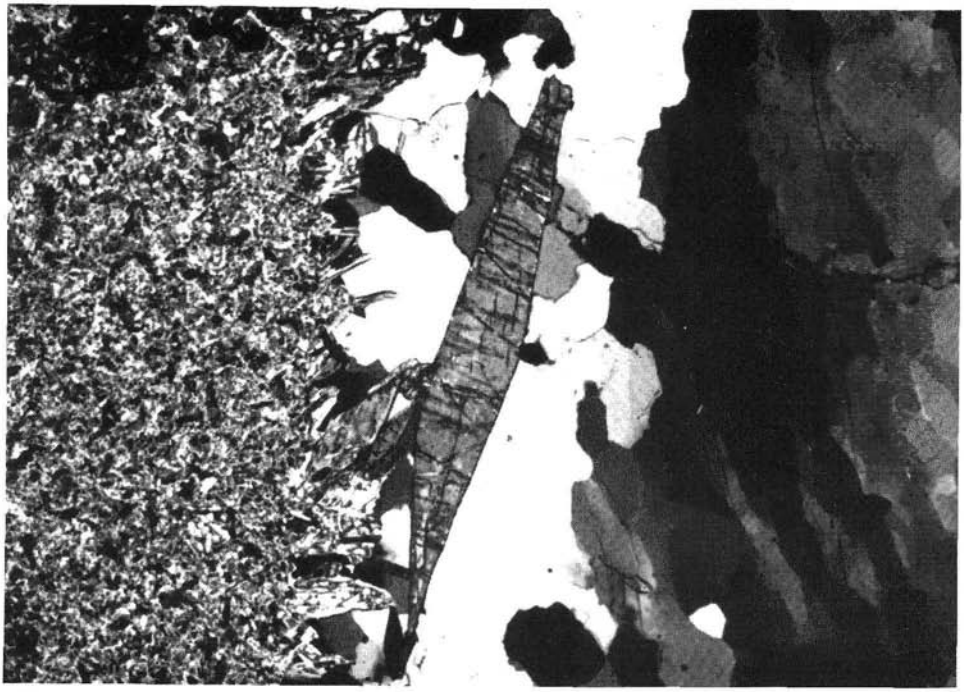

Abb. 5 d: Korngrößenunterschiede zwischen Matrix (feinkörnig) und Segregation (Horizont H). Senkrecht zum Nebengesteinskontakt spießen größere Epidotkristalle in die quarzreiche Segregation ein, ein weiterer idiomorpher Segregations-Epidot ist parallel zum Salbandverlauf angeordnet und von rekristallisiertem Quarz umgeben. Die großen Quarzaltkörner im Innern der Segregation sind in längliche Subkörner unterteilt. Ds ES-11, Gipfel der Weiß-Spitze, PX, BLK = 4,9 mm.

2.3. Mineralchemie und Texturbeschreibung

Es wurden Mikrosondenmessungen an Kluft- (=Segregations-)mineralen und an gleichen Mineralen am Salband und im Nebengestein (= Matrix) durchgeführt, um über die Kenntnis der Zusammensetzung und des Zonarbaus relative Altersbeziehungen von Kluft und Nebengestein zu erhalten. In Tabelle 2 und im Text beziehen sich die Bezeichnungen „Kern", „Mitte" oder „Mittelbereiche" und „Rand" (Messungen auf den letzten 20 bis 30 µm eines Korns) jeweils auf Kristallindividuen. Die Aussagen stellen Zusammenfassungen von mehreren Profilen bzw. Proben dar.

Die Analysen wurden mit einer automatisierten CAMEBAX-Mikrosonde bei 15 kV, mit PUP- bzw. ZAF-Korrekturprogramm durchgeführt. Als Standards für die Elemente Si, Na, Al, K und Ca dienten natürlicher Albit, Orthoklas und Wollastonit sowie natürlicher Flußspat für die Messung von F; für Mg und Ti standen synthetisches MgO bzw. TiO_2 zur Verfügung, für Fe Metall.

2.3.1. Pyroxen

Omphazite als typische Kluftminerale treten in Segregationen aller beschriebenen Eklogite auf. Fe^{2+}- und Fe^{3+}-Gehalte wurden durch Normalisierung auf 6 Sauerstoffe

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

Tab. 1: Mineralogie von Nebengestein und Segregation (s. auch Abb. 5a, b), Reihenfolge nach mengenmäßigem Auftreten, vorherrschende Minerale sind **fettgedruckt**, das Hauptsegregationsmineral Quarz und solche unter 5 Vol-% sind nicht erwähnt.

Horizont	Nebengestein	Segregation
A	**Epidot > Omphazit, Magnesit, Granat,** Phengit/Talk, Winchit	**Epidot > Omphazit, Magnesit**
B	**Magnesit, Granat > Omphazit > Epidot**	**Magnesit**
C	**Granat** Epidot, Omphazit, Magnesit	**Dolomit**
D	**Omphazit ≈ Epidot ≈ Granat**	**Magnesit**
E	**Omphazit > Epidot**	**Omphazit > Epidot**
F	**Epidot > Omphazit > Granat** Winchit	**Magnesit** Winchit
G	**Omphazit > Epidot**	**Omphazit**
H	**Omphazit ≈ Epidot, Magnesit, Winchit** Talk	**Omphazit, Epidot**
I	**Epidot > Omphazit**	**Epidot >> Omphazit**
K	**Epidot >> Omphazit** Winchit, Rutil	Zonierung ab Kontakt: – **Omphazit,** Rutil – **Apatit** – **Epidot**
L	**Epidot >> Omphazit** Winchit, Dolomit	**Epidot > Omphazit**

und 4 Kationen berechnet, die Endglieder in der Reihenfolge Ca-Tschermaks-, Akmit-(= Fe^{3+}), Jadeit- und (Diopsid-+Hedenbergit)-Komponente bestimmt. Die Ergebnisse sind in Abb. 6 zusammengefaßt. Analysen symplektitischer Pyxroxene mit diopsidischem Charakter wurden zur Klarheit der Darstellung nicht beücksichtigt. Im gebänderten Eklogittyp wurden in Kluft, Matrix und am Salband Omphazite beobachtet, die nach der Nomenklatur von MILLER (1977) wie Omphazite vom Typ I zusammengesetzt sind, in massigen Eklogiten dagegen Omphazite, die in ihrer Zusammensetzung Typ II entsprechen (Abb. 6 a). Abb. 6 c zeigt für den Omphazittyp II, daß Kluftkerne und Matrixkerne gleiche Zusammensetzung haben, und Abb. 6 d, daß der Zonarbau der Kluftpyroxyene sehr gering ist und nicht systematisch. Innerhalb des Omphazittyps I zeigen die Kluft-, Matrix- und Salbandpyroxene einen unterschiedlichen Chemismus (Abb. 6 b). Die Akmitgehalte liegen

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

Abb. 6: *Kristallchemie der Pyroxene.*

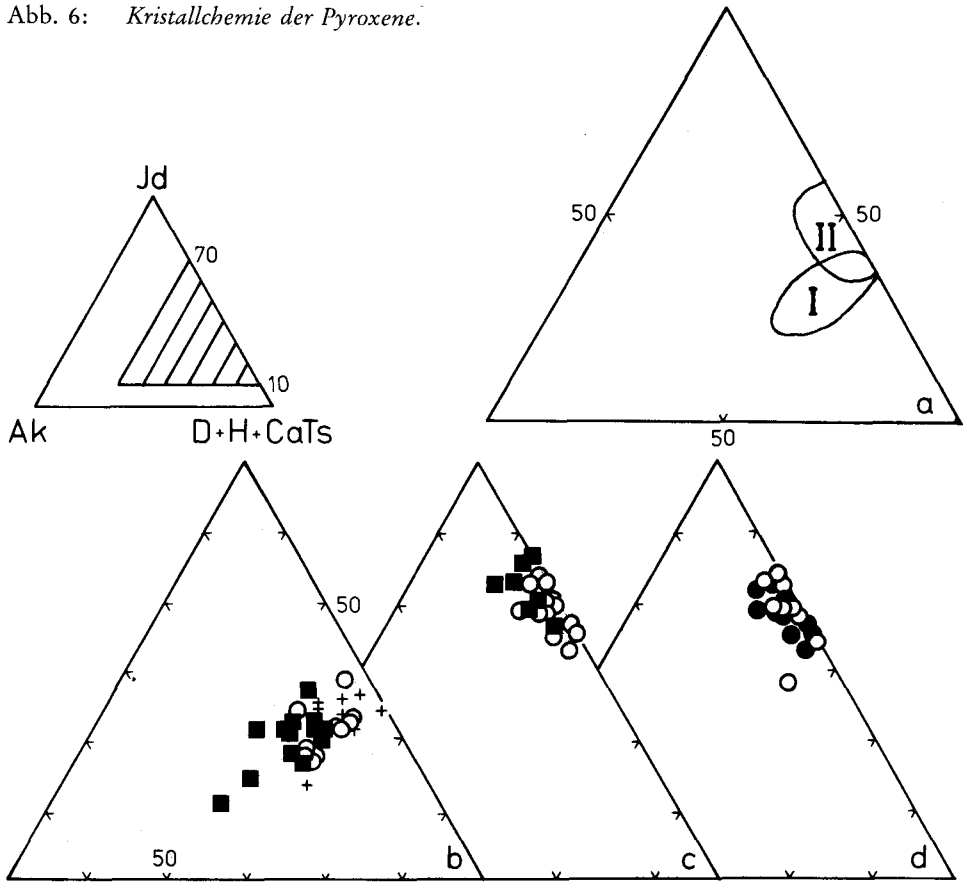

Abb. 6 a: Streubereiche der Pyroxentypen I und II im Konzentrationsdreieck Jadeit (Jd), Akmit (Ak), Diopsid + Hedenbergit + Ca-Tschermaks Komponente (D+H+CaTs).
Abb. 6 b: Zusammensetzung von Nebengesteins- (Quadrate), Salband- (Kreuze) und Segregationspyroxenen (offene Kreise), Typ I.
Abb. 6 c: Chemismus im Kern von Nebengesteins- (Quadrate und Segregation-Pyroxenen (offene Kreise), Typ II.
Abb. 6 d: Zusammensetzung von Segregationpyroxenen, Typ II, Kerne (gefüllte Kreise), Ränder (offene Kreise).

in Kluft- und Salbandpyroxenen etwas niedriger, die (Diopsid-+Hedenbergit)-Gehalte höher. Die höchsten Jadeitgehalte werden hier direkt am Kontakt zwischen Nebengestein und Segregation gemessen. Für Randanalysen der Matrixpyroxene ist ein Trend mit in Richtung auf die Segregation abnehmenden Akmitgehalten festzustellen. Bei an Epidot grenzenden Pyroxenrandanalysen lassen sich höhere Akmit- und niedrigere (Diopsid+Hedenbergit)-Gehalte feststellen (Änderung des Fe^{2+}/Fe^{3+}-Verhältnisses) als bei Analysen gegen Kluftquarz. Für beide Pyroxentypen liegt das Fe^{2+}/Fe^{3+}-Verhältnis für Matrix- niedriger als für Segregationskristalle.

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

2.3.2. Granat

Granat tritt als Kluftmineral nur selten auf, meist ist er frontartig am Salband konzentriert (s. Abb. 4b). In der Matrix trifft man Granatakkumulate an, die aus mehreren einschlußreichen Keimen spessartinreicher Zusammensetzung zusammengewachsen sind. Teilweise sind die einzelnen Keime noch erkennbar, teilweise greift der chemische Zonarbau über diese Akkumulatbildung hinweg.

Am Salband kann man ebenfalls solche Granatakkumulate finden, in denen mehrere „Kerne" analysiert werden können. Auffallend an diesen Salbandgranaten ist die Wachstumsasymmetrie: der einschlußfreie Saumbereich ist in Richtung auf die Kluft breiter ausgebildet (Abb. 7), die Kerne liegen nicht in der Mitte des Aggregats, der kräftig gefärbte einschlußreiche Innenbereich und der Farbzonarbau sind nicht konzentrisch ausgebildet. Die Granate in der Segregation sind frei von Einschlüssen.

Der chemische Zonarbau ist in den Kluft- und Matrix-Granaten gleichsinnig (Abb. 8): einem grossular- und spessartinreichen Kern folgt ein kontinuierlicher Anstieg in der Pyropkomponente bis zum Rand, mit einem äußeren Saum leicht fallender Pyrop- und leicht steigender Grossularanteile. Diese Entwicklung deckt sich mit Beobachtungen von MILLER (1977) an Granaten aus allen Eklogittypen. Der Unterschied zwischen Kluft- und Matrixgranaten besteht hauptsächlich darin, daß die extrem spessartin- ($\geq$ 10 Mol-%) und grossularreichen ($\geq$ 30 Mol-%) Kerne bei den Kluftgranaten nicht gefunden werden konnten. Der Zonarbau eines asymmetrisch zonierten Granates vom Übergang Matrix/Salband (s. Abb. 7) ist in Abb. 9

Abb. 7: Asymmetrisches Wachstum zonar gebauter Granate am Übergang zwischen Matrix (links) und Segregation (Apatit, Quarz und Hellglimmer). Ds 83–74, Steinsteg, PP, BLK = 3,2 mm.

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

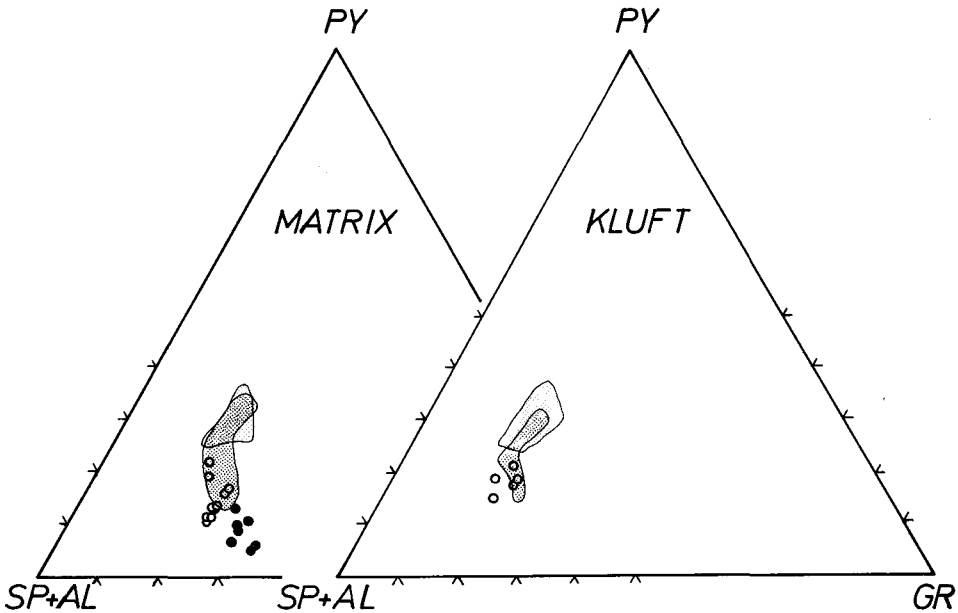

Abb. 8: Zusammensetzung und Zonarbau von Matrix- und Kluftgranaten: Akkumulat-Zentren, nur in der Matrix (gefüllte Kreise), Kerne (Kreise), Mittelbereiche (dunkle Signatur, in Matrix 25, in der Kluft 10 Werte), Ränder (hellere Signatur, in Matrix 17, in der Kluft 14 Werte).

gezeigt. Im äußeren Randbereich fällt oszillierender Zonarbau, besonders deutlich in der PY-Komponente auf. In den Matrix- und Kluftgranaten ist diese Oszillation nicht so deutlich ausgeprägt, dagegen jedoch auch in Granat-Segregationen aus Glimmerschiefern der Eklogitzone (eigene Beobachtungen, SPEAR & FRANZ, 1985) beschrieben worden.

Die Spessartinkomponente in Randanalysen von Matrix-, Salband- und Kluftgranaten aus massigen Eklogiten ist in Abb. 10 dargestellt. Die Kluft- und Salbandgranate haben eine wesentlich größere Schwankungsbreite als die Matrixgranate. Die Absolutgehalte an Spessartin in den Rändern ($\leq$ 1,5 Mol-%) liegt aber deutlich unter der der Kernzusammensetzungen ($\geq$ 10 Mol-%). Nicht nur für den Mn-Gehalt, sondern auch für die anderen Komponenten lassen sich in den Segregationsgranaten größere Schwankungen als in den Matrixkristallen feststellen. Die Randzusammensetzungen aller Granate lassen in ihrem Mg/(Mg+Fe)-Verhältnis keine systematische Abhängigkeit vom angrenzenden Mineral erkennen. Die Werte fallen zwischen 0,2 und 0,5. Im gebänderten Eklogit fällt auf, daß die Mg/(Mg+Fe)-Verhältnisse der Hochdruckminerale Granat, Pyroxen, Magnesit und Paragonit nahe beieinander liegen. Eine Beziehung zur Zusammensetzung der eklogitischen oder ein Trend in bezug auf sekundär gebildete Phasen wie Kalzit, bestimmten Amphibolen, Biotit/Phlogopit oder biotitisiertem Amphibol läßt sich nicht erkennen, insgesamt deutliche Zeichen für Ungleichgewichte. Die GR-Komponente scheint sich demgegenüber

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

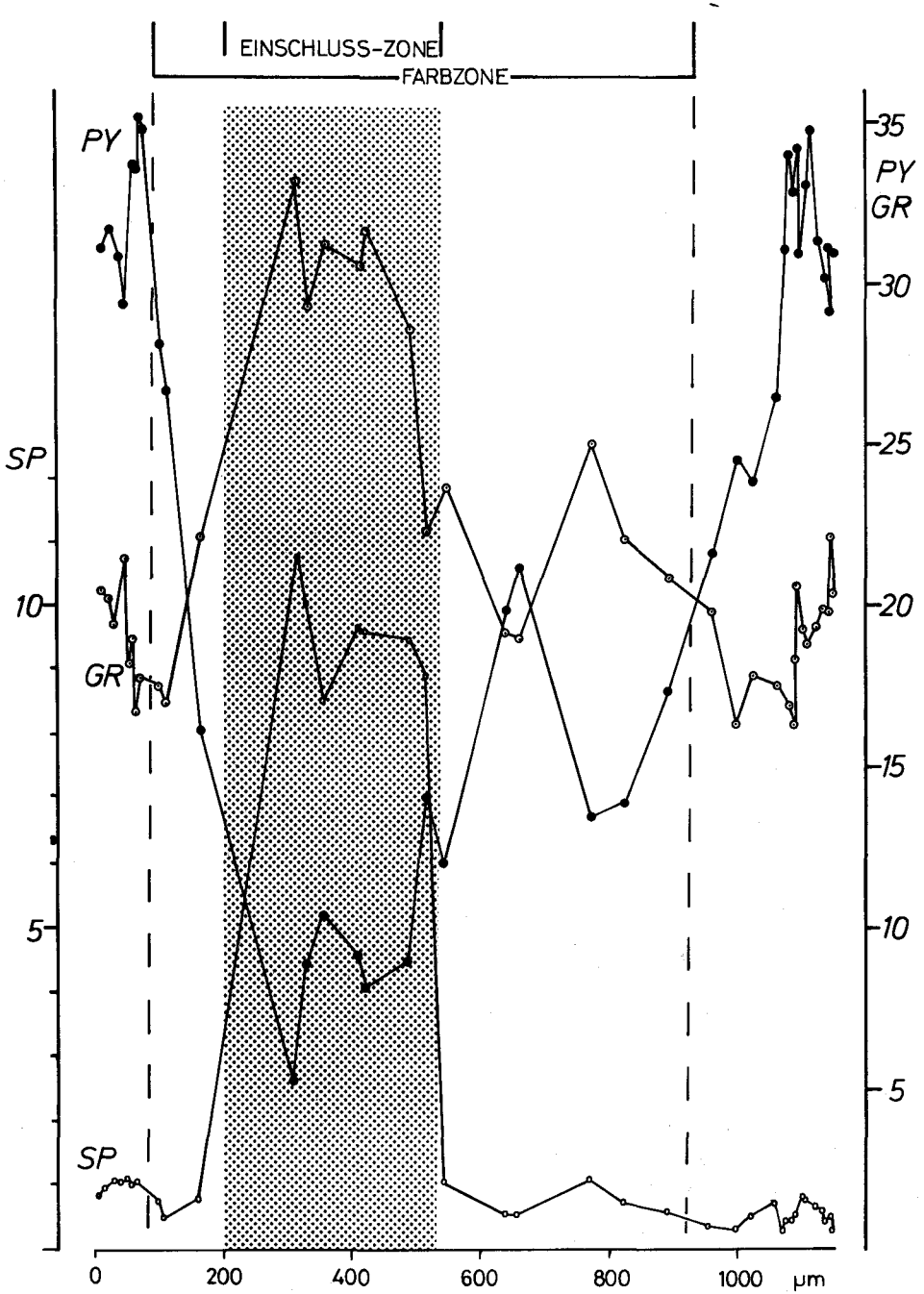

Abb. 9: Zonarbau eines asymmetrisch gewachsenen Granates am Kontakt zwischen Matrix (links) und Segregation (rechts), aufgetragen in Mol-% der Endglieder Pyrop (PY), Grossular (GR) und Spessartin (SP); nähere Erläuterungen im Text.

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

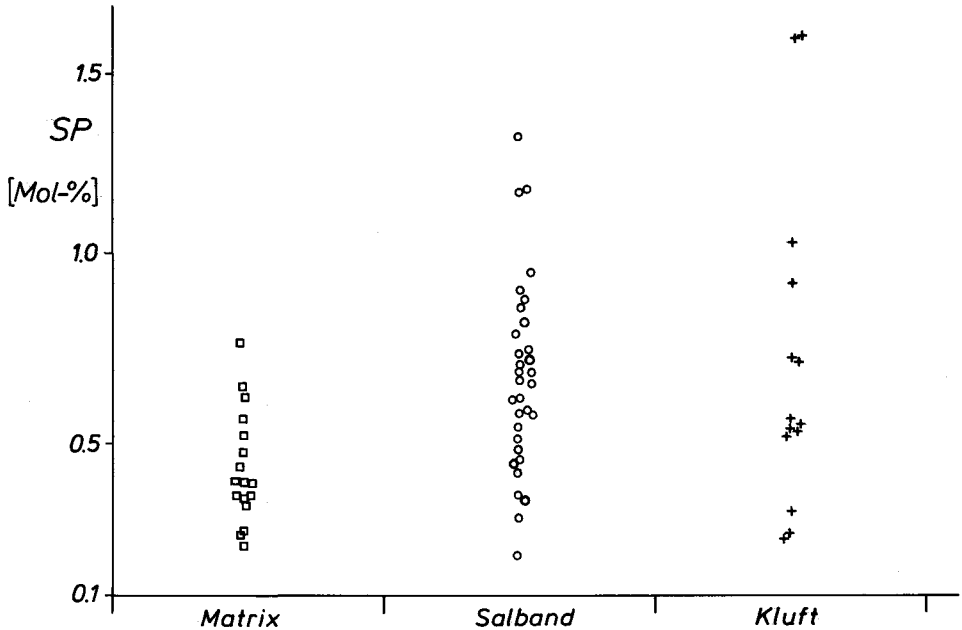

Abb. 10: Spessartin-Anteile (Mol-%) in äußeren Granaträndern aus Matrix, Salband und Segregation.

ganz spezifisch auf das gegenüberliegende Mineral einzustellen: für den Abbau zu Amphibol wird Ca abgezogen – der GR-Gehalt erniedrigt sich.

In den gebänderten Eklogiten wurden keine Segregationen mit Granat beobachtet. Hier können nur die Matrixgranate mit denen aus den massigen Eklogiten verglichen werden. Die Kernbereiche sind in beiden Typen gleich, jedoch ist die Randzusammensetzung der Granate in den gebänderten Eklogiten durch höhere Grossular- und Spessartin- und niedrigere Pyropgehalte gekennzeichnet. Beim Vergleich der Chemismen der Granatränder über zunehmende Entfernung von der Segregation fort zeigt sich in den gebänderten Eklogiten für Pyroxenkontakte eine leichte Almandinzunahme.

Eine Korrelation im Verhältnis $Ca/(Ca+Fe^{2+}+Mg)$ im Granat ergab im Gegensatz zu den Untersuchungen von LAPPIN & SMITH (1981) keine positive Korrelation mit dem koexistierenden primären Karbonatmineral (Magnesit bzw. Dolomit), sondern lag in Granaten magnesitführender Eklogite im Mittel höher als in Kristallen dolomitführender Gesteine.

2.3.3. Epidot/Zoisit

Im Gegensatz zu Granat und Omphazit, die in Kluft und Matrix ähnlich zusammengesetzt sind, unterscheiden sich die Epidote deutlich voneinander (Abb. 5, 11 und Tab. 2). Die Kerne der Matrixepidote in den gebänderten Eklogiten sind reich an Al_2Fe-Komponente (73 bis 78 Mol-%), die der Kluftepidote mit ca. 50 Mol-%

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

deutlich ärmer. Die Randbereiche in Kluft und Matrixepidoten überlagern sich, fallen mit ihren Zusammensetzungen jedoch in den Bereich der möglichen Mischungslücke nach RAITH (1976). Die Matrixepidote sind in ihrer Entwicklung vergleichbar mit dem Epidottyp I (RAITH, 1976) aus hochoxidierten Eklogiten im Zusammenhang mit einer prograden metamorphen Entwicklung. Im Gegensatz zu den Epidoten im feinkörnig-gebänderten Gestein treten in den massigen Eklogiten Zoisite als Segregationsminerale aus dem Hochdruckstadium auf. HOLLAND (1979) gibt den Chemismus porphyroblastischer Orthozoisite aus Klüften mit 5–17 Mol-% Al_2Fe-Komponente an. Eigene Meßwerte liegen bei 5 bis 7 Mol-%, mit höchsten Gehalten im Kern. Die Al_2Fe-Gehalte aller sekundär gebildeten Epidote liegt mit 63 bis 68 bzw. mit 31 bis 38 in allen untersuchten Eklogittypen und 5 bis 7 Mol-% für sekundären Zoisit in Proben der grobkörnig-massigen Varietät deutlich unter der der primären Segregationsepidotminerale. Anwachssäume mit 69 bis 77 Mol-% Al_2Fe-Komponente werden wie bei RAITH (1976) als späte, posteklogitische Bildungen interpretiert und sind in Abb. 11 nicht dargestellt.

2.3.4. Hellglimmer (Paragonit/Phengit/Margarit)

Der Hauptunterschied zwischen Kluft- und Matrixmineralen liegt bei den Hellglimmern nicht im Zonarbau, sondern im Vorkommen der einzelnen Typen: Vorherrschender Glimmer im Nebengestein der Eklogite ist der Paragonit, in der Segregation überwiegt Phengit in den massigen Eklogiten. Im gebänderten Typ ist kein Paragonit in der Kluft analysiert worden.

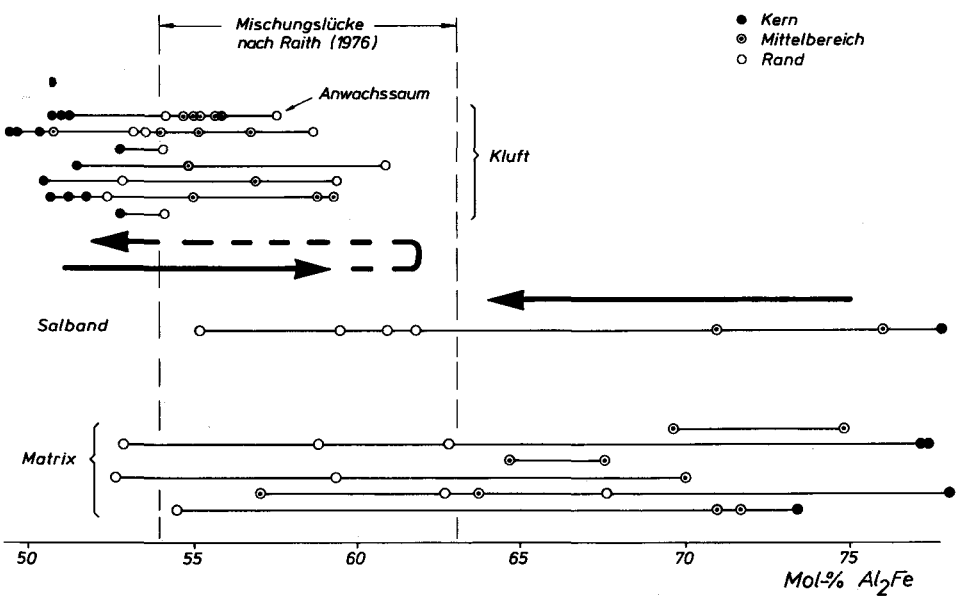

Abb. 11: Gegenläufige Entwicklung des Zonarbaus von Epidoten in Nebengestein, Kluft und am Salband. Nähere Erläuterungen im Text.

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

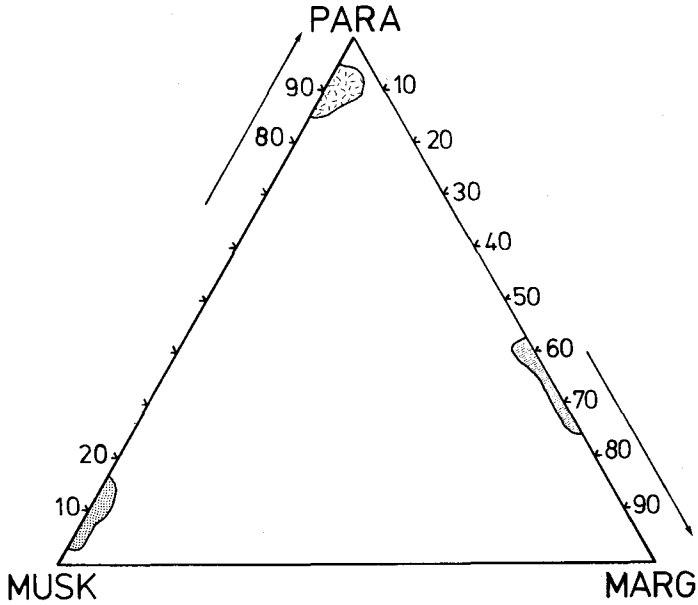

Abb. 12: Chemische Zusammensetzung der Hellglimmer aus unterschiedlichen Eklogitvarietäten aus Kluft, Nebengestein und vom Salband. PARA = Paragonit (Na/(Na+K+Ca), MUSK = Muskovit (K/Na+K+Ca), MARG = Margarit (Ca/Na+K+Ca).

Die texturelle Stellung des Paragonits ist nicht eindeutig. Dieser Glimmer gehört sowohl zum eklogitischen Primärbestand als auch zu den Alterationsprodukten. Er liegt in großen Kristallen neben Omphazit, Disthen und Zoisit vor und als feinkörniger Saum um Disthen, mit allen Übergangsstadien bis zur vollständigen Pseudomorphose. Phengit ist ebenfalls dem eklogitischen Mineralbestand *und* den Alterationsparagenesen zuzurechnen. Die chemische Zusammensetzung der Hellglimmer ist in Abb. 12 dargestellt; zwischen Kluft-, Salband- und Matrixmineralen bestehen keine signifikanten Unterschiede. Die Phengitkristalle sind leicht zonar gebaut, mit zunehmenden Na-Gehalten vom Kern zum Rand und abnehmenden Si-Gehalten von 3,50 auf 3,30. Margarit tritt in allen Gesteinen (Kluft und Nebengestein) nur als Alterationsprodukt von Disthen mit Paragonit zusammen auf.

2.3.5. Amphibol, Karbonat, Talk, Disthen

Eine Vielzahl von Amphibolen (Nomenklatur nach HAWTHORNE, 1981) ist in chemisch und texturell unterscheidbaren Typen zu finden.

In den massigen Eklogiten treten *farblose Glaukophane*, im feinkörnig gebänderten Typ stark gefärbte *Winchite* in Matrix und Segregation auf. Die ersten entsprechen HOLLANDS (1979) Glaukophantyp I, die Winchite seiner jüngeren Glaukophangeneration II und den Crossiten bzw. Ca-Glaukophanen nach MILLER (1977). Eine Zunahme an Ca ist sowohl für den Zonarbau der einzelnen Winchitblasten als auch

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

für die Entwicklung zu den sekundären Amphibolen kennzeichnend. Als Bestandteil von Symplektiten oder in Frakturen zusammen mit Plagioklas, Chlorit, Hämatit oder als Saum um Amphibol und Granat treten *Barroisit, Aktinolith, Edenit, Tremolit, Magnesio-Hornblende, Ferro-* und *Fe-haltiger Pargasit* („Ferroan pargasite"), *magnesio-hastingsitische, aktinolitische* und *edenitische Hornblende,* und *Magnesio-Kataphorit* auf. Die drei zuletzt genannten und *Ferro-Tschermakit* sind auch reliktisch in Granat und Omphazitblasten der Matrix eingeschlossen.

Magnesit tritt in der Matrix, in der Segregation und als Einschluß im Granat in den gebänderten Eklogiten auf. Er zeigt keine signifikanten Unterschiede im Chemismus (≈ 20 Mol-% Siderit) und keinen oder nichteinheitlich scheinenden Zonarbau. Aufgrund der Texturen ist er zum primären eklogitischen Bestand zu rechnen.

Dolomit tritt in den massigen Eklogiten als wahrscheinlich primäre eklogitische Phase, in dem gebänderten magnesitführenden Typ als jüngeres Karbonatmineral, meist als Saum um Magnesit, Talk und Phengit, sowie als Alterationsprodukt von Segregationsepidot in Pseudomorphosen auf. Beide Dolomitarten sind sehr ähnlich zusammengesetzt.

Kalzit gehört neben albitreichem *Plagioklas, Chlorit, Fe- bzw. Fe-Ti-Oxiden* (Hämatit, Magnetit, Ilmenit, Hämoilmenit) zu den posteklogitischen Alterationsmineralen, die saumartig um ältere Minerale oder in feinen Frakturen ausgefällt sind. Kalzit findet sich auch als Einschluß in Segregationsepidoten und als kleinste Festeinschlüsse in Segregationsquarz.

Talk, mit schwachem Zonarbau von abnehmenden Na-Gehalten vom Kern zum Rand, tritt zusammen mit Magnesit und Phengit in Segregation und Matrix der disthenfreien gebänderten Eklogite auf.

Disthen enthält Fremdelemente (Cr_2O_3, MnO, MgO, TiO_2), deren Anteile im Bereich der Nachweisgrenze (≤ 0,02 Gew.-%) liegen; lediglich der Fe_2O_3-Gehalt kann mit 0,13 Gew.-% leicht erhöht sein. Unter dem Kathodolumineszenzmikroskop wird ein lichtoptisch nicht erkennbarer Zonarbau deutlich.

2.3.6. Erze

Die Alteration der Eklogite hat entweder entlang von diskreten Frakturen, die das Planargefüge häufig schneiden oder auf Schichtflächen und Korngrenzen zur Bildung von Hämatit, Magnetit, Ilmenit und zum Absatz von verschiedenen Hämo-Ilmenitphasen geführt. Rutile, vereinzelte Chalkopyrit- und Pyritkristalle können fast immer eindeutig den eklogitischen Paragenesen zugerechnet werden.

3. Diskussion und Schlußfolgerungen

3.1. Zeitpunkt der Segregationsbildung; Mineralentwicklung

Bei der Interpretation der Ergebnisse der Untersuchungen an Texturen und Mineralchemie in Segregationen wird davon ausgegangen, daß der erkennbare Zonarbau in den Mineralen durch Festkörper-Diffusion nachträglich nicht erheblich verändert worden, sondern der Wachstumszonarbau erhalten ist.

Für bestimmte Minerale belegen die Daten gleichzeitiges Wachstum in Nebengestein und Segregation, wie es zum Beispiel an der identischen Zusammensetzung

Tab. 2: Repräsentative Mikrosondenanalysen von Nebengesteins-, Segregations- und Salbandmineralen, angegeben in Gew.-% der Oxide bzw. in Kationenkoeffizienten.

Mineral	PYX I	PYX I	PYX I	PYX I	PYX I	PYX I	PYX II	PYX II	PYX II	PYX II	GRN	GRN	GRN	GRN	GRN	GRN	GRN	GRN
Analyse	Mk	Mr	Sk	Sr	Kk	Kr	Mk	Mr	Kk	Kr	Mz	Mm	Mm	Mr	Sk	Sm	Sm	Sr
Nr.	2116	2115	2144	2149	2207	2206	125	127	140	139	1166	1173	1069	1167	4407	4431	4418	4430
Probe	ES-11	ES-11	ES-11	ES-11	ES-11	ES-11	80-26	80-26	80-26	80-26	83-78	83-78	83-78	83-78	83-74	83-74	83-74	83-74
SiO_2	55,35	54,56	55,22	55,07	54,99	54,81	56,23	57,04	56,41	56,54	37,53	37,32	37,93	39,18	38,14	39,27	38,49	38,93
TiO_2	0,03	0,06	0,04	0,08	0,05	0,03	0,04	0,08	0,07	0,07	0,14	0,13	0,06	0,01	0,09	0,03	0,01	0,04
Al_2O_3	7,34	8,38	8,22	7,95	7,99	7,93	13,0	12,87	12,25	13,35	21,48	21,42	22,02	22,68	21,17	21,95	21,42	21,92
Cr_2O_3	0,07	0,04	0,08	0,04	0,02	0,03	0,05	0	0,32	0,23	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.	0,07	0,05	0	0
Fe_2O_3*	5,28	5	1,68	2,68	5,03	4,46	1,63	0,59	0,27	0,92	0	0	0	0	0	0	0	0
FeO*	2,47	2,67	4,71	3,47	2,71	3,17	1,1	2,05	2,93	1,87	22,66	29,78	28,31	23,44	22,09	23,37	26,41	22,9
MgO	9,38	8,29	8,13	8,02	8,92	9,06	8,09	8,06	7,86	7,34	1,46	2,76	5,05	9,19	2,53	8,06	7,06	7,88
MnO	0,04	0,04	0,06	0	0,06	0,06	0,05	0	0,03	0	4,95	0,65	0,27	0,11	6,44	0,2	0,23	0,2
CaO	15,1	14,27	14,31	14,85	14,38	14,33	12,17	12,22	11,91	11,02	12,02	8,35	7,27	6,56	10,32	7,9	6,24	8,14
Na_2O	5,96	6,37	6,14	6,27	6,19	6	7,78	7,77	7,61	8,31	0	0,01	0,02	0,03	0,05	0,02	0,02	0,02
K_2O	0	0,01	0	0,02	0	0	0,01	0	0	0,02	0	0	0	0	0	0,01	0,01	0,01
Summe	99,73	101,02	98,59	98,45	100,34	99,88	100,15	100,78	99,66	99,67	100,4	100,45	100,94	101,58	100,9	101,86	99,89	100,04
Kationen auf	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4								
Basis von	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	12	12	12	12	12	12	12	12
Si	1,979	1,975	2	2	1,977	1,979	1,973	1,988	1,996	1,99	2,974	2,958	2,964	2,994	2,997	2,979	2,992	2,985
Al^{IV}	0,021	0,025	0	0	0,023	0,021	0,027	0,012	0,004	0,01	0	0	0	0	0	0	0	0
Al^{VI}	0,287	0,331	0,357	0,344	0,315	0,316	0,511	0,517	0,507	0,544	2,006	2,011	2,02	1,991	1,96	1,963	1,962	1,981
Ti	0,001	0,002	0,001	0,002	0,001	0,001	0,001	0,002	0,002	0,002	0,008	0,008	0,003	0,006	0,005	0,002	0,001	0,002
Cr	0,002	0,001	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001	0	0,009	0,006	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.	0,004	0,003	0	0
Fe^{3}*	0,142	0,136	0,046	0,075	0,136	0,121	0,043	0,016	0,007	0,024	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe^{2}*	0,074	0,08	0,145	0,107	0,082	0,096	0,032	0,06	0,087	0,055	1,501	1,974	1,825	1,875	1,451	1,482	1,717	1,469
Mg	0,5	0,447	0,445	0,44	0,478	0,488	0,432	0,424	0,415	0,385	0,172	0,326	0,58	0,39	0,296	0,911	0,818	0,901
Mn	0,001	0,001	0,002	0	0,002	0,002	0,001	0	0,001	0	0,332	0,044	0,02	0,042	0,429	0,013	0,015	0,013
Ca	0,578	0,553	0,564	0,585	0,554	0,554	0,457	0,456	0,451	0,416	1,02	0,709	0,606	0,704	0,868	0,642	0,52	0,669
Na	0,413	0,447	0,437	0,447	0,431	0,42	0,529	0,525	0,522	0,567	0	0,002	0,003	0,003	0,008	0,003	0,003	0,003
K	0	0	0	0,001	0	0	0	0	0	0,001	0	0	0,006	0,001	0	0,001	0	0,001

Abkürzungen: EPI = Epidot, GLA = Glaukophan, GRN = Granat, MGS = Magnesit, PHE = Phengit, PYX = Pyroxen, WIN = Winchit;
Analysenbezeichnungen: M = Matrix, S = Salband, K = Kluft, k = Kern, m = Mittelbereiche, r = Ränder, z = Zentrum im Akkumulat.
* Fe_2O_3/FeO berechnet für Amphibol und Pyroxen; sonst FeO = Fe_{tot} bzw. Fe_2O_3 = Fe_{tot} (Epidot).

© Österreichische Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.biologiezentrum.at

© Österreichische Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

Tab. 2: Fortsetzung

Mineral	GRN	GRN	GRN	EPI	EPI	EPI	EPI	EPI	EPI	PHE	PHE	GLA	GLA	WIN	WIN	GLA	GLA	MGS	MGS
Analyse Nr. Probe	Kk 4307 83-74	Km 4498 83-74	Kr 4506 83-74	Mk 2120 ES-11	M 2128 ES-11	Mr 2126 ES-11	Kk 2205 ES-11	Km 2204 ES-11	Kr 2203 ES-11	Mk 2337 ES-11	Sr 2264 ES-11	Kk 108 80-26	Kr 105 80-26	Mk 2329 ES-11	Mr 2330 ES-11	Sk 2307 ES-11	Sr 2284 ES-11	Mm 2320 ES-11	Km 2319 ES-11
SiO_2	38,67	38,76	39,68	37,43	37,46	37,83	37,87	38,07	38,12	51,25	50,57	58,44	57,45	54,08	53,63	55,69	54,23	0,01	0,01
TiO_2	0,06	0,04	0,04	0,08	0,1	0,12	0,09	0,16	0,1	0,32	0,27	0,04	0,03	0,11	0,57	0,03	0,05	0,02	0,02
Al_2O_3	21,04	21,66	22,32	23,37	25,18	26,82	26,91	26,47	25,84	23,94	26,38	12,02	12,29	8,25	8,23	9,09	9,55	0,01	0,01
Cr_2O_3	0	0,03	0,05	0,06	0,02	0,09	0,05	0,1	0,01	0,32	0,05	0,02	0,01	0,07	0,19	0,07	0,04	0,01	0
Fe_2O_3*	0	0	0	12,71	10,43	8,98	8,73	9,29	10,31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FeO*	29,37	27,74	23,27	0	0	0	0	0	0	3,06	3,39	4,6	4,88	9,97	10,21	9,76	10,06	17,64	16,43
MgO	4,87	5,32	7,73	0,05	0,07	0,14	0,15	0,2	0,18	4,4	3,75	14,28	13,78	13,64	14,07	13,6	13,31	33,87	37,25
MnO	0,22	0,19	0,22	0,19	0,04	0,08	0,1	0,07	0,1	0	0,02	0	0,03	0	0,14	0,08	0,14	0,45	0,54
CaO	6,25	6,63	7,25	22,43	23,31	23,63	23,58	22,82	23,03	0	0	1,91	1,77	4,89	5,61	2,95	3,24	0,46	0,49
Na_2O	0,01	0,02	0,03	0	0,04	0,03	0	0,01	0	0,36	0,55	6,54	6,87	5,29	4,85	6,64	6,35	0,01	0
K_2O	0	0	0,01	0,01	0	0	0	0	0	10,66	10,79	0,06	0,06	0,15	0,16	0,02	0,04	0	0,01
Summe	100,48	100,39	100,6	96,33	96,65	97,72	97,48	97,19	97,79	94,2	95,77	98,1	97,17	96,86	97,66	97,97	97,33	52,48	54,76
Kationen auf Basis von	12	12	12	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	22	22	23	23	23	23	23	23	6	6
Si	3	3,014	3,015	3,019	2,991	2,972	2,978	3,001	2,999	6,968	6,78	7,808	7,753	7,631	7,5	7,68	7,567	0	0
Al^{IV}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,032	1,22	0,192	0,247	0,369	0,5	0,32	0,433	0	0
Al^{VI}	1,924	1,985	1,999	2,221	2,37	2,483	2,494	2,459	2,396	2,804	2,948	1,701	1,709	1,004	0,858	1,158	1,138	0	0
Ti	0,004	0,002	0,002	0,005	0,006	0,007	0,005	0,009	0,006	0,033	0,027	0,004	0,003	0,012	0,061	0,003	0,005	0	0
Cr	0	0,002	0,003	0,004	0,001	0,006	0,003	0,006	0,001	0,023	0,005	0,002	0,001	0,008	0,021	0,008	0,004	0	0
Fe^{3}*	0	0	0	0,771	0,627	0,531	0,517	0,551	0,61	0	0	0,1	0,135	0,243	0,302	0,351	0,376	0	0
Fe^{2}*	1,905	1,804	1,479	0	0	0	0	0	0	0,348	0,38	0,414	0,416	0,934	0,893	0,775	0,799	0,446	0,391
Mg	0,563	0,617	0,876	0,006	0,008	0,016	0,018	0,023	0,021	0,892	0,749	2,843	2,772	2,868	2,934	2,795	2,768	1,527	1,581
Mn	0,015	0,013	0,014	0,013	0,003	0,005	0,007	0,005	0,007	0	0,002	0	0,003	0	0,017	0,009	0,017	0,011	0,013
Ca	0,52	0,552	0,59	1,938	1,994	1,989	1,987	1,927	1,942	0	0	0,274	0,256	0,739	0,841	0,436	0,484	0,015	0,015
Na	0,002	0,003	0,004	0	0,006	0,005	0	0,002	0	0,094	0,143	1,694	1,798	1,447	1,315	1,722	1,718	0	0
K	0	0	0,001	0,001	0	0	0	0	0	1,894	1,845	0,01	0,01	0,027	0,029	0,004	0,007	0	0

Abkürzungen: EPI = Epidot, GLA = Glaukophan, GRN = Granat, MGS = Magnesit, PHE = Phengit, PYX = Pyroxen, WIN = Winchit;
Analysenbezeichnungen: M = Matrix, S = Salband, K = Kluft, k = Kern, m = Mittelbereiche, r = Ränder, z = Zentrum im Akkumulat.
* Fe_2O_3/FeO berechnet für Amphibol und Pyroxen; sonst FeO = Fe_{tot} bzw. Fe_2O_3 = Fe_{tot} (Epidot).

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

von Kluft- und Matrixpyroxenkernen erkennbar ist. Prinzipiell übereinstimmende und vermutlich gleichzeitig ablaufende Zonarbauentwicklung in Nebengesteins-, Segregations- und Salbandmineralen lassen sich in Hellglimmern aller Eklogittypen, und in Amphibolen und Karbonaten der feinkörnigen gebänderten Eklogitvarietät erkennen. In Paragoniten und Phengiten nimmt der K-Anteil vom Kern zum Rand hin ab; in Phengiten verringert sich der Si-Wert. Die Abnahme des Si-Wertes deutet im Falle der Phengite auf sinkende Druck- (oder steigende Temperaturbedingungen). Die Hellglimmer haben ihren Chemismus in Segregation und Matrix entweder einem abnehmenden metamorphen Grad oder einer späteren Überprägung entsprechend neu eingestellt. Die Winchit-Blasten im gebänderten Eklogit zeigen in Matrix und Segregation die gleiche Ca-Zunahme vom Kern zum Rand. Der im selben Gestein analysierte Magnesit zeigt in Nebengestein und Segregation übereinstimmende Zusammensetzung und keinen Zonarbau.

Ein zeitversetztes Wachstum in Nebengestein und Kluft wird am Beispiel von Granat deutlich. Hier haben sich zunächst spessartinreiche Keime in Akkumulaten und Einzelkristallen mit Umwachsung von Einschlüssen im Nebengestein gebildet; daran anschließend erfolgt die Sprossung in der Segregation.

Am Beispiel der asymmetrisch gewachsenen Salbandgranate (Abb. 7) wird besonders deutlich, daß Zonen für vergleichbare chemische Wachstumsbedingungen massenmäßig und räumlich ungleich verteilt waren. Dort ist der Granat in Richtung auf die Matrix wie im Nebengestein gewachsen, während in Richtung auf die Kluft – wie für das Wachstum der Segregationskristalle selbst – das Hauptangebot an Komponenten erst später (nach Bildung der Einschlußzone) zur Verfügung stand.

Das Wachstum von Epidoten in Nebengestein und Kluft des gebänderten Eklogittyps verlief ebenfalls nicht zeitgleich. Frühe, vermutlich präeklogitisch gewachsene Epidotkerne im Nebengestein entwickeln sich zu niedrigeren Al_2Fe-Gehalten (Abb. 11). Diese Entwicklung entspricht abnehmendem Oxidationsgrad, höheren Metamorphosebedingungen und/oder vermindertem Fe-Angebot. Möglicherweise hat zum Zeitpunkt, als die Mittelbereiche im Nebengestein ausgebildet waren, das Wachstum der Epidote in der Segregation mit deutlich niedrigeren Fe^{3+}-Gehalten im Kern eingesetzt. Die Al_2Fe-Chemismen der meisten Epidotkerne aus der Segregation ordnen sich an der von RAITH (1976) bestimmten Mischungslücke im System $Ca_2Al_3Si_3O_{12}$ (OH) – $Ca_2Al_2Fe^{3r}Si_3O_{12}$ (OH) an. Die unterschiedliche Zusammensetzung in den Segregationskernen sowie die gegenläufige Kern/Mittelbereichs-Entwicklung (im Nebengestein zu geringeren, in der Segregation zu höheren Fe^{3+}-Gehalten) weist auf in Nebengestein und Kluft unterschiedliche Sauerstoffugazitäten (bzw. auf ein geringeres Angebot an Fe^{3+} in der Segregation) hin. Die Segregationsepidote besitzen Mittelbereiche mit Zusammensetzungen, die innerhalb der oben erwähnten Mischungslücke liegen. Dies wird als Anzeichen für ansteigende Temperatur auf Werte oberhalb des Solvus und/oder sich ändernde Sauerstoffugazität während des Wachstums gedeutet. Im Rand der Epidote in der Kluft kann sich die Entwicklung dann wieder umkehren zu abnehmenden Al_2Fe-Gehalten, und verläuft somit gleichsinnig wie in den Matrixepidoten. Die annähernd übereinstimmende Zusammensetzung in Rändern von Matrix- und Kluftepidoten spricht für sich angleichende Wachstumsbedingungen.

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

3.2. *Stoffabkunft und Gleichgewichtseinstellung*

In keinem der untersuchten Fälle ist das Segregationsmaterial mit dem Nebengestein mengenmäßig identisch; im feinkörnig-massigen und im feinkörnig-gebänderten Eklogit ist das Hauptmineral der Segregation Quarz, der im Nebengestein in beiden Fällen nur untergeordnet auftritt. Analoges gilt für den hellglimmerarmen grobkörnigen Eklogittyp und die darin auftretenden Paragonit-Phengit-reichen Segregationen. Dennoch wird anhand von texturellen und chemischen Kriterien deutlich, daß der Stoffbestand zum Aufbau der Segregationsphasen aus dem direkt angrenzenden Nebengestein stammt: am gebänderten Eklogit ist eine horizontgebundene Abhängigkeit erkennbar (Abb. 5, Tab. 1), während man in den grobkörnig-massigen Eklogit-Segregationen eher eine texturelle Überlagerung von lagenabhängigem und konzentrischem Aufbau der verschiedenen Segregationsminerale beobachten kann (Glimmerzunahme, frontartige Granatanordnung, Rekristallisation von Klinopyroxenblasten am Salband bzw. Neusprossung von Omphazit parallel zur Zerrungsrichtung, während Zoisit, Disthen und Apatit meist weiter im Segregationsinnern mit Tendenz zur salbandparallelen Orientierung angetroffen werden). In den feinkörnig-massigen Eklogiten ist meist nur ein schmaler Saum von Omphazit, Disthen + Omphazit mit mehr oder weniger Paragonit bzw. von Paragonit + Phengit entwickelt.

Glimmerzunahme, Rekristallisation, Auflösung der Foliation in Richtung auf die Segregation und übereinstimmender Chemismus der Minerale in Nebengestein und Kluft weisen auf Fluß der fluiden Phase vornehmlich von der Matrix in die Kluft hin. Stengeliges Wachstum senkrecht zum Salband – wie das der Klinopyroxene – wird als Anzeichen von Wachstum während des Öffnens, bei möglicherweise zyklischem Aufreißen/Verheilen („crack-seal") der Kluft und kontinuierlicher Fluidzufuhr gedeutet (RAMSAY, 1980; ETHERIDGE et al., 1984; PHILIPPOT, 1987).

Es besteht keine Notwendigkeit, große Transportweiten im System Eklogit-Segregation anzunehmen. Der Einzugsbereich für die Komponenten, die die Segregationsminerale aufbauen, ist klein. Dennoch erscheint die Aufstellung einer Massenbilanz zwischen Nebengestein und Segregation weder möglich noch sinnvoll. Während der Segregationsbildung wurden einzelne Komponenten in unterschiedlicher Weise mobilisiert, keine bestimmten Minerale. Das Gestein wird inkongruent gelöst und im Kluftbereich wieder ausgefällt. Dies wird zusätzlich durch die Tatsache bestätigt, daß in einer Kluft in der Regel weniger Phasen als im Nebengestein auftreten, die aber nicht aus einer geringeren Anzahl an Komponenten zusammengesetzt sein müssen.

In einem Teil der Segregationen finden sich Merkmale metasomatischer Prozesse wie mono- oder multimineralische Zonierung (Granatfront, Hellglimmerkonzentration, Pyroxensaum). Diese Phänomene sprechen für mobile Komponenten zwischen Segregation und Matrix. Fluidzirkulation innerhalb der Segregation kann zur Homogenisierung der mobiden Komponenten und zum Aufbau der Säume beigetragen haben. Die Untersuchungen zeigen sowohl durchgreifende als auch partielle oder mangelnde Gleichgewichtseinstellungen zwischen fluider und Festphasen. Eine zirkulierende nicht-statische Porenlösung kann für dieses Muster verantwortlich sein.

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

Daß die Zonarbauentwicklung und die Randanalysen für alle Granatarten (aus Nebengestein, Salband, Kluft) ähnlich sind und im Vergleich zum Kern ein höheres Mg/Fe-Verhältnis eingestellt haben, weist auf ein *übergeordnetes durchgreifendes Gleichgewicht* zwischen fluider und festen Phasen hin.

Eine ganz *lokale Gleichgewichtseinstellung* abhängig von der unmittelbaren chemischen Umgebung ist am Mg/(Mg+Fe)-Verhältnis in Granaträndern in Nebengestein, Salband und Segregation erkennbar, das unabhängig vom angrenzenden Mineral streut. Eine partielle Gleichgewichtseinstellung zeigt sich auch an den PY-Komponenten in Granaträndern des feinkörnig-gebänderten Eklogits. Am Kontakt gegen Magnesit hat der Granat vergleichsweise höhere Mg-Gehalte. Auch in an Epidot grenzenden Pyroxenen kann in Randanalysen im Vergleich zu Kontakten gegen Kluftquarz eine Änderung des Fe^{2+}/Fe^{3+}-Verhältnisses und damit eine Reaktion mit anderen Segregationsmineralen festgestellt werden.

Wenn man die Vorstellung zugrunde legt, daß sich zumindest lokal ein Gleichgewicht eingestellt hat und nicht ungleich intensiv equilibrierte Randanalysen erfaßt werden, ist es möglich, ein selektives Mobilitätsverhalten für einzelne Komponenten zu beschreiben.

Im gebänderten Eklogit wurden Analysen nicht alterierter Granatränder am Kontakt zu Klinopyroxenen mit unterschiedlicher Entfernung zum Segregationsrand verglichen. Dabei zeigt sich, daß von der Segregation ins Nebengestein hin der Fe-Gehalt in den Granaträndern zu-, Mg und damit auch das Mg/Fe-Verhältnis abnehmen.

Ebenso lassen sich in Matrixpyroxenen aller Eklogittypen höhere Fe^{3+}- und Fe_{tot}-Gehalte und niedrigere Fe^{2+}/Fe^{3+}-Verhältnisse als in Segregationsmineralen feststellen (s. Abb. 6 b, Auftragung von Matrix-, Salband- und Kluftmineralen). Gleichzeitig nehmen die Fe^{3+}- (Akmit-) und auch die Fe_{tot}-Gehalte in Pyroxenrändern mit wachsender Entfernung vom Kontakt weg ins Nebengestein zu, was für höhere Sauerstoffugazitätswerte im Nebengestein spricht. Unterschiedliche Oxidationsbedingungen in Nebengestein und Segregation können zu einer möglichen selektiven Fe^{3+}-Mobilisation geführt haben. Das in der Kluft niedrigere Angebot an Fe führte zur Bildung der Fe^{3+}-ärmeren Epidotkerne und erklärt gleichzeitig, daß Granat (der im Vergleich zu den anderen Fe-Mg-haltigen Segregationsmineralen bevorzugt Fe einbaut) relativ selten als Kluftphase auftritt und sich am Salband konzentriert.

Weitere Anzeichen sprechen dafür, daß innerhalb einer Segregation andere Voraussetzungen für Gleichgewichtseinstellungen gegeben sind als in der Matrix. Für Mn, d. h. die SP-Komponente in Granat (Abb. 10) zeichnet sich eine *erhöhte Mobilität in Segregation und Salband* gegenüber der Matrix ab. Auch für die anderen Komponenten lassen sich in den Segregationsgranaträndern größere Streuungen feststellen. Desgleichen zeigt die starke Oszillation im Rand von Granaten am Segregationskontakt (Abb. 9), daß ein reger Austausch von Komponenten am Salband unter lokal sich verändernden chemischen Bedingungen stattfindet. Auch die geringen aber signifikanten Differenzen in den Randzusammensetzungen der anderen Kluft- und Nebengesteinsminerale weisen auf unterschiedliche Bedingungen für eine Equilibrierung hin, wie z. B. die höheren Akmit- und fast immer niedrigeren Jadeitgehalte in den Matrix- gegenüber Segregationsomphaziträndern aller Eklogitvarietäten. Vermutlich werden aufgrund der höheren Permeabilität im

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

feinkörnigeren Nebengestein dort im Gegensatz zur Segregation noch in bezug auf das Eklogitstadium retrograde Bedingungen abgebildet. Dazu paßt die Beobachtung, daß die meisten der Matrixrand-Gruppierungen in den verschiedenen Proben eine größere Streuung aufweisen und daß ein Symplektitsaum in der Matrix stärker ausgeprägt ist.

3.3. Zur Kluftentwicklung

Zusammengefaßt ergibt sich folgendes Bild: Während der Metamorphose der tuffitischen, tholeiitischen bis alkalibasaltischen oder gabbroiden Ausgangsgesteine und Sedimente zu Glaukophanschiefern bzw. Eklogiten laufen – nach anfänglicher Hydration – die Entwässerungsreaktionen aufgrund der Beteiligung von Mischkristallen und wegen der chemischen Vielfalt der beteiligten Gesteine mehr oder weniger kontinuierlich ab. Wie die Minerale Paragonit, Zoisit und auch Magnesit zeigen, muß in Tiefen von 60 bis 70 km noch eine volatilreiche Phase zur Verfügung gestanden haben. Bei Subduktion unter einem niedrigen thermischen Gradienten bis ca. 12°/km ist es möglich, daß durch Dehydrationsreaktionen solcher vulkanischen und metasedimentären Gesteine entwickeltes Wasser in die Tiefe transportiert werden kann, da die thermische Expansion des Wassers bei solch hohen P/T-Verhältnissen unbedeutend ist (NORRIS & HENLEY, 1976). Bei Abschätzung des geothermischen Gradienten von 13–14° C (MILLER, 1977) oder 10–20° C/km (RAITH et al., 1980) für das postkinematische Hochdruckstadium im Arbeitsgebiet erscheint diese Möglichkeit des Volatiltransports durchaus denkbar. Bei Aufheizung durch thermische Relaxion wurde der Temperaturgradient erhöht (Kreuzung dieses steileren Gradienten mit einer Isochore höheren spezifischen Volumens im P/T-Feld, s. Abbildungen in NORRIS & HENLEY, 1976). Es kam, vestärkt durch Deformation, zu weiteren Devolatisierungsreaktionen und zur Segregationsbildung unter Beteiligung von wasserreichen Phasen. Dabei muß der Fluid- dem lithostatischen Druck entsprochen haben, sonst hätte der höhere P_{lith} mit ansteigender Temperatur zum Verschließen der Porenräume geführt (WALTHER & ORVILLE, 1982).

Das Aufreißen der Segregationen ist syn- oder postdeformativ erfolgt; für die hier ausgewählten Beispiele zu einem Zeitpunkt, nachdem die Hauptgefügeprägung der eklogitischen Matrix bereits abgeschlossen war. Im Aufbau dieser Segregationen ist zwar der Lagenbau, aber weniger die tektonisch verursachte Foliation abgebildet. Da die Ursache für das Fehlen einer Foliationstextur in mangelnder Streß-Übertragung durch hohen Fluiddurchsatz liegen kann und die Widerstandskraft (Zugfestigkeit) von Gesteinen gegenüber Differentialstressen gering ist, kann auch aus dem Fehlen einer Deformationstextur auf die Übereinstimmung zwischen Fluid- und lithostatischen Drucken geschlossen werden. (In Gesteinen mit ausgeprägterem Lagenbau ist der syndeformative Charakter der mit Foliationsboudinierung verbundenen Kluftbildungen deutlicher erkennbar.)

Durch Kluftparagenesen wie Jadeit + Paragonit + Disthen, Magnesit + Granat + Klinopyroxen und die Übereinstimmung in der Zusammensetzung von Nebengesteins- und Segregationsmineralen wird die Bildung der Segregationen unter Hochdruckbedingungen deutlich. Außerdem werden die Annahmen von HOLLAND (1977,

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

1979), FRANZ & SPEAR (1983) und MILLER (1986) zur extrem wasserreichen Zusammensetzung der fluiden Phase auch in der Kluft bestätigt.

Nachdem das Granatwachstum (der spessartin- und einschlußreichen Keime) in den Akkumulaten im massigen eklogitischen Nebengestein bereits begonnen hatte, erfolgt das weitere Wachstum der Granatkristalle sowie die Sprossung von Pyroxen (Typ II) in Nebengestein und aufreißender Kluft gleichzeitig.

Die Segregationsepidote in den feinkörnig-gebänderten Eklogiten wachsen ebenfalls im Vergleich zu den Keimen in der Matrix zu einem späteren Zeitpunkt und zunächst unter im Vergleich zum Nebengestein verschiedenen Bedingungen (Sauerstoffugazität).

Die Beobachtungen an den Quarzmikrogefügen können weitere Hinweise auf die Bildungsbedingungen der Segregationen geben. Die Erholungserscheinungen, wie die beobachtete Subkornbildung, weisen auf hohe Temperaturen hin. Es stellt sich die Frage, ob diese aus der dem deformativen Eklogitstadium folgenden statischen Periode oder von der jüngeren Tauernkristallisation stammen (beide Ereignisse dürften 500° C überschritten haben). Solange diese Frage nicht beantwortet werden kann, ist auch spekulativ, ob die in bezug auf die Temperung ältere Deformation, die zur Bildung der Deformationslamellen oder zur undulierenden Auslöschung geführt hat, aus dem Eklogitstadium stammt. Möglicherweise wurde diese Verformung von einer tektonischen Beanspruchung zwischen dem Eklogitstadium und der Tauernkristallisation – z. B. durch die Überfahrung der penninischen durch die ostalpinen Einheiten hervorgerufen.

Im Anschluß an die eklogitische Segregationsbildung haben chemische Veränderungen stattgefunden. Die posteklogitische Alteration ist – wie z. B. der Abbau von Disthen zu Paragonit – im allgemeinen unvollständig und texturell uneinheitlich ausgeprägt. Meist sind die Segregationsminerale weniger alteriert als die Minerale der Matrix (Abb. 3 b). Das Nebengestein ist permeabler und bietet der fluiden Phase eine größere Korngrenzenoberfläche. Albit, OH- und CO_2-haltige Alterationsminerale werden vorwiegend auf Korngrenzen, Spaltbarkeiten und Rissen, also an Orten erhöhter Wegsamkeit aus einer fluiden Phase ausgefällt. Die meisten Hydrations- und Karbonatisierungsreaktionen – wie die Reaktion Jadeit + Disthen + H_2O = Paragonit (HOLLAND, 1979 b) – besitzen ein positives differentielles Reaktionsvolumen $\triangle V_R$. Ein frühzeitiges Versiegeln der Reaktionsräume wie durch eine Panzerung der reaktiven wasserfreien Minerale durch Symplektitsäume vor vollständigem Reaktionsablauf und durch Verbrauch der zur Verfügung stehenden Komponenten, besonders der Volatilen, kann die Folge sein. Die Druckentlastung während des Aufstiegs führt zusätzlich zur Expansion der Festphasen, damit zum Verringern des Porenraumes bis zum nächsten Fluidpuls. Weitere Ursachen für eine unvollständige Alteration können in kinetischen Barrieren aufgrund geringer Temperaturen bzw. nicht ausreichender Reaktionszeit wegen rascher Heraushebung liegen. Posteklogitische Deformation, die vor allem, wenn sie duktil ist, kinetische Hemmungen durch Umsetzung von Strainenergie herabsetzen und Reaktionsraten erhöhen könnte, ist in den Segregationen kaum ausgeprägt. Dagegen belegen die feinen Alterationsfrakturen, entlang derer das Nebengestein verändert und Ca-reiche Amphibole, Albit und Epidot gebildet wurden, eine spätere Fluidzirkulation in Verbindung mit ruptureller Verformung.

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

Danksagung

Die vorliegende Arbeit wurde im Rahmen des Projektes Fr 557/3 von der Deutschen Forschungsgemeinschaft gefördert. Die Mikrosondenanalysen wurden an der ZELMI, Techn. Univ. Berlin angefertigt, und wir möchten besonders Herrn F. GALBERT für seine Hilfe wie auch Herrn Dr. U. ZINKERNAGEL für die Durchführung der Kathodolumineszenz-Untersuchungen danken. Den Familien WIBMER aus Zedlach und MÜHLBURGER aus Gruben gilt unser Dank für die freundliche Aufnahme, sowie allen anderen – vor allem Dr. U. F. HEIN –, die durch Anregung und Kritik zur Fertigstellung beigetragen haben.

Literatur

ABRAHAM, K., HÖRMANN, P. K. & RAITH, M.: Progressive metamorphism of basic rocks from the southern Hohe Tauern area, Tyrol (Austria). – N. Jb. Miner. Abh., **122**, 1–35, Stuttgart 1974.

DACHS, E.: Petrologische Untersuchungen im südlichen Tauernfenster und Bemerkungen zur Geothermobarometrie der Paragenese Plagioklas-Biotit-Granat-Muskovit ± Al_2SiO_5-Quarz unter Berücksichtigung einer experimentellen Bestimmung des Gleichgewichts: Almandin + Grossular + Muskovit = 3 Anorthit + Annit. – Unveröff. Diss. Univ. Innsbruck, 163 S., 1985.

DACHS, E.: High-pressure mineral assemblages and their breakdown-products in metasediments south of the Grossvenediger, Tauern Window, Austria. – Schweiz. miner. petr. Mitt., **66**, 145–161, Zürich 1986.

ETHERIDGE, M. A., WALL, V. J. & COX, S. F.: High fluid pressures during regional metamorphism and deformation: implications for mass transport and deformation mechanism. – J. Geophys. Res., **89**, No. B6, 4344–4358, Washington 1984.

FRANK, W., HÖCK, V. & MILLER, CH.: Metamorphic and Tectonic History of the Central Tauern Window. – [In]: FLÜGEL, H. W. & P. FAUPL [eds.]: Geodynamic of the Eastern Alps, 34–54, Deuticke, Wien 1987.

FRANTZ, J. D. & MAO, H. K.: Bimetasomatism resulting from intergranular diffusion: II. Prediction of multimineralic zone sequences. – Amer. J. Sci., **279**, 302–323, New Haven 1979.

FRANZ, G. & SPEAR, F. S.: High pressure metamorphism of siliceous dolomites from the central Tauern Window, Austria. – Am. J. Sci., **283-A**, 396–413, New Haven 1983.

HAWTHORNE, F. C.: Crystal chemistry of the amphiboles. – [In]: VEBLEN, D. R. [ed.]: Amphiboles and Other Hydrous Pyriboles – Mineralogy. Reviews in Mineral., Mineral. Soc. Amer. **9 A**, Washington, D.C., 1981.

HOLLAND, T. J. B.: Structural and metamorphic studies of eclogites and associated rocks in the central Tauern region of the eastern Alps. – Unpubl. D. Phil. thesis, Oxford 1977.

HOLLAND, T. J. B.: High water activities in the generation of high pressure kyanite eclogites of the Tauern Window, Austria. – J. Geol., **87**, 1–27, Chicago 1979.

HOLLAND, T. J. B.: Experimental Determination of the Reaction Paragonite = Jadeite + Kyanite + H_2O, and Internally Consistent Thermodynamic Data for Part of the System Na_2O-Al_2O_3-SiO_2-H_2O, With Applications to Eclogites and Blueschists. – Contrib. Mineral. Petrol., **68**, 293–301, Berlin 1979 b.

KERRICK, D. M.: The Genesis of Zoned Skarns in the Sierra Nevada, California. – J. Petrology, **18**/1, 144–181, Oxford 1977.

MILLER, CH.: On the metamorphism of the eclogites and high-grade blueschists from the Penninic terrane of the Tauern window, Austria. – Schweiz. Miner. Petr. Mitt., **54**, 371–384, Zürich 1974.

MILLER, CH.: Chemismus und phasenpetrologische Untersuchungen der Gesteine aus der Eklogitzone des Tauernfensters, Österreich. – Tschermaks Miner. Petr. Mitt., (3) **24**, 221–277, Wien 1977.

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

MILLER, CH.: Alpine high-pressure metamorphism in the Eastern Alps. – Schweiz. Miner. Petr. Mitt., **66**, 139–144, Zürich 1986.

NORRIS, R. J. & HENLEY, R. W.: Dewatering of a metamorphic pile. – Geology, **4**, 333–336, Boulder 1976.

PHILIPPOT, P.: "Crack seal" vein geometry in eclogitic rocks. – Geodinamica Acta, **1**, 3, 171–181, Paris 1987.

RAITH, M.: The Al-Fe (III) Epidote Miscibility Gap in a Metamorphic Profile Through the Penninic Series of the Tauern window, Austria. – Contr. Mineral. Petrol., **57**, 99–117, Berlin 1976.

RAITH, M., HÖRMANN, P. K. & ABRAHAM, K.: Petrology and metamorphic evolution of the Penninic ophiolites in the western Tauern window, Austria. – Schweiz. Miner. Petr. Mitt., **57**, 187–232, Zürich 1977.

RAITH, M., MEHRENS, C. & THÖLE, W.: Gliederung, tektonischer Bau und metamorphe Entwicklung der penninischen Serien im südlichen Venediger-Gebiet, Osttirol. – Jb. geol. B.-A., **123**, H. 1, 1–37, Wien 1980.

RAMSAY, J. G.: The crack-seal mechanism of rock deformation. – Nature, **284**, 135–139, London 1980.

SPEAR, F. S. & FRANZ, G.: Garnet Zoning, P–T Paths and Tectonic Evolution of the Eclogite Zone, Tauern Window, Austria. – Abstract, AGU Spring Meeting, USA 1985.

SPEAR, F. S. & FRANZ, G.: P–T evolution of metasediments from the Eclogite Zone, south-central Tauern window, Austria. – Lithos, **9**, 219–234, Amsterdam 1986.

WALTHER, J. V. & ORVILLE, P. M.: Volatile Production and Transport in Regional Metamorphism. – Contr. Mineral. Petrol., **79**, 252–257, Berlin 1982.

YARDLEY, B. W. D.: Fluid Migration and Veining in the Connemara Schists, Ireland. – [In:] WALTHER, J. V. & WOOD, B. J. [eds.]: Fluid-rock interactions during metamorphism. – Advances in Physical Geochemistry, **5**, 109–131, Springer, Berlin 1986.

Manuskript eingelangt am 13. April 1988,
revidierte Fassung am 19. Juli 1988

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Austrian Journal of Earth Sciences

Jahr/Year: 1988

Band/Volume: 81

Autor(en)/Author(s): Thomas S., Franz G.

Artikel/Article: Kluftminerale und ihre Bildungsbedingungen in Gesteinen der Eklogitzone/Südvenediger-Gebiet (Hohe Tauern, Österreich). 189-218